

Title	人間活動がジュゴンに与える影響に関する音響学的研究(Dissertation_全文)
Author(s)	溝端, 紀子
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2014-07-23
URL	http://dx.doi.org/10.14989/doctor.k18531
Right	許諾条件により、本文は2015-07-01に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

博士学位論文

人間活動がジュゴンに与える影響に関する音響学的研究

2014 年 7 月

京都大学大学院 情報学研究科
社会情報学専攻

溝端 紀子

要 旨

近年、人間活動によって発生する海中騒音が海洋生物に与える影響が懸念されている。海中騒音は生物の行動、分布、生息地選択に影響を与える可能性がある。海の騒音問題は海洋生物および生態系の保全にとって大きな課題の一つである。多くの動物は、音を利用して個体間コミュニケーションや索餌を行う。しかし騒音はこれらの音利用を阻害する。そこで騒音による鳴音のマスキングを避けるため、鳴音特性を変化させる「発声調節」が様々な種において知られている。

本研究の対象種であるジュゴン絶滅が危惧される海産哺乳類であり、早急な保全対策を必要としている。その生息域は沿岸浅海域に集中しており、漁業などの人間活動域と重複している。そのため人間活動およびそれに起因する海中騒音がジュゴンへ与える影響が懸念される。ジュゴンもまた鳴音を用いて個体間コミュニケーションを行う。先行研究において騒音がジュゴンの音響コミュニケーションに与える影響が示唆されているものの研究例は少なく、その影響は不明である。そのため騒音という観点からジュゴン保全策を論じるにもデータが不十分である。本研究では、ジュゴン生息環境の音響特性、ジュゴン鳴音特性、および騒音下におけるジュゴンの発声調節を検証し、騒音がジュゴンの発声行動に与える影響を明らかにすることを目的とした。

音響解析には、2004 年、2006 年、および 2008 年のいずれも乾季において、タイ国南部トラン県タリボン島沿岸で録音した水中音データを用いた。同島東部沿岸には大規模な海草藻場が存在し、同国最大のジュゴン個体群が生息している。録音地点は海草藻場の南端に位置し、ジュゴン鳴音が多く検出されることがわかっている。

まずジュゴン生息環境の音響特性を把握するため、海中騒音の主音源である船舶に焦点をあてた。船舶活動および海中雑音の時系列動態について、現地インタビュー調査および水中音解析により調べた。対象海域を航行する船舶の多くは小規模沿岸漁業を営む小型漁船であり、季節にかかわらず朝から昼にかけ

て最も活動的であった。海中雑音レベルは朝 9 時～12 時に最も高く、1 kHz 前後を中心とする低～中周波数帯で時間帯による変動が大きかった。船舶音は低～中周波数帯に音響エネルギーが集中していること、1 日における船舶活動と海中雑音レベルの時系列変動パターンがほぼ一致することから、対象海域においても船舶音が海中雑音に大きく寄与すると示された。

ジュゴン鳴音数は日中よりも夜間に多く、また潮汐の干満差が小さいときほど多かった。本結果および既存研究から、干満差が小さいときは水深変化が少なく個体への負担が少ないため、沿岸に位置する録音地点により多くの個体が滞在すること、録音地点は隣接する海草藻場でジュゴンが摂餌する前後に音響コミュニケーションを含む社会行動をおこなう場所であると推察された。

騒音存在下におけるジュゴンの発声調節を検証するために、持続的騒音（背景雑音）および一時的騒音（船舶音）下におけるジュゴン鳴音特性をそれぞれ調べた。解析項目は、発声頻度、鳴音の持続時間、音圧レベル、卓越周波数、および倍音数の 5 項目とした。背景雑音レベルが高いときほど高い卓越周波数をもつ鳴音が増加した。船舶音前後では鳴音の倍音数が増加した。これら結果から、ジュゴンは通常よりも高い鳴音を利用することで騒音環境に適応し、騒音による鳴音のマスキングを回避すると示唆された。

本研究では、海中騒音によるジュゴンの発声行動への影響に関する新たな知見を得た。対象域は途上国の田舎の漁村であり、周辺海域を航行する船舶数は比較的少なく海中騒音レベルは低いにもかかわらず、騒音下における発声調節が示唆された。発声調節は個体の消費エネルギーを増加させ、鳴音の通信範囲を狭めてコミュニケーション機会を減少させる可能性がある。これらは将来的に個体の適応度低下、さらには個体数減少へつながる可能性が考えられる。よってジュゴンの保全・管理計画において、不可視的な騒音の影響も考慮していく重要性が示された。

Abstract

In recent decades, anthropogenic noise impacts on marine mammals have been a great concern, because noise may cause changes in animal behavior, distribution, and habitat selection. Thus, ocean noise pollution is one of the major challenges for the conservation of marine mammals. Marine mammals use sounds for communication, prey detection, and predator avoidance. Noise from natural and anthropogenic sources possibly interferes with these signal sounds. To avoid acoustic interference by noise, animals alter their vocalization (e.g., call rate, amplitude, and frequency) with increase in noise level. This "vocal adjustment" is proven to be a strategy of animal communication in various species.

Dugongs are one of the most endangered marine mammals worldwide. They are vulnerable to anthropogenic influences, because they live in shallow coastal waters where various human activities take place. Therefore noise impact caused by human activities on dugongs is a major concern. Dugongs vocalize like other mammals and are thought to use acoustic signals for communication. Underwater noise has been suggested to affect the vocal characteristics of dugongs in a previous study, however, little is known about the noise impact on their communication. Thus, the objective of my study was assessing the potential impact of underwater noise on vocal behavior of dugongs. I investigated the acoustical characteristics of dugong habitat and dugong vocalization, and tested the vocal adjustment of dugongs in the presence of noise.

I analyzed the underwater data recorded off the south coast of Talibong Island, Trang, Thailand, outside of the largest seagrass bed during the dry season in 2004, 2006, and 2008. Dugongs are mostly observed in and around the seagrass beds around Talibong Island. Dugong vocalization has mostly been detected in this area around the island.

I investigated the characteristics of dugong habitat by conducting an interview survey and acoustic analysis of underwater sound data. I focused on the temporal pattern of boat traffic because boat noise is a major source of anthropogenic noise in the ocean. I interviewed the local people who operate boats. The diel patterns of ambient noise level and boat noise were acoustically analyzed. Around the focal area, small wooden boats were mostly used for small-scale fisheries. Local fishermen usually worked in the daytime, especially from morning to noon, regardless of the season. The number of boat noise detected from underwater sound data also showed the same pattern. Overall ambient noise level was highest during 09:00-12:00 hr. Ambient noise levels around 1 kHz were most different depending on the time of the day. Sound energy from small boats was concentrated in low and mid frequencies. The diel patterns of boat noises were coincident with that of ambient noises. Thus, boat traffic was suggested to mainly contribute to ambient noise levels on a local scale.

Dugong calls were frequently detected in the nighttime. There was a negative relationship between the number of calls and the tidal range within a tidal cycle. As the recording point was located in shallow coastal water, the changes in water depth were small when the tidal range was narrow. These results suggest that more dugongs spent at the recording point, which is supposed to be socializing area before and after grazing at the seagrass bed.

I analyzed the vocal characteristics in the presence of continuous noise (ambient noise) and temporary noise (boat approaching noise) to test the vocal adjustment of dugongs. I statistically tested five vocal characteristics: call rate, call duration, sound pressure level (SPL), dominant frequency, and number of harmonics. The calls with higher frequency increased with high ambient noise levels. I compared vocal characteristics before and after exposure to boat noise. The number of harmonics of calls increased after the boat noise. These results suggest that dugongs alter their vocalization in the presence of noise to overcome acoustic interference.

I showed the first baseline data on how noise affects the vocal behavior of

dugongs. Vocal adjustment of dugongs in the presence of noise was shown, although boat traffics and underwater noise levels in the focal area were relatively low, unlike those in the urban coastal area. When dugongs choose the strategy of vocal adjustment, they might require more energy than that in the usual condition. The changes of vocal characteristics might reduce their communication range, which reduces the chances for their successful communication. These changes may negatively affect animals' fitness and result in population level in the future. I thus suggest that considering invisible noise effect is one of the key elements for effective dugong conservation efforts.

目 次

第1章 緒 言	1
1-1. 研究背景	1
1-1-1. 人間活動と海洋生物の軋轢	1
1-1-2. 海中騒音が海洋生物に与える影響	2
1-2. 本研究の目的と概要	5
1-2-1. 対象生物	5
1-2-2. 対象海域	12
1-2-3. 本研究の目的	14
1-2-4. 本研究の構成	16
第2章 ジュゴン生息環境の音響特性	17
2-1. 第1節 社会学的アプローチ	17
2-1-1. 背景	17
2-1-2. 方法	20
2-1-3. 結果	22
2-1-4. 考察	28
2-2. 第2節 音響学的アプローチ	30
2-2-1. 背景	30
2-2-2. 方法	32
2-2-3. 結果	41
2-2-4. 考察	51
第3章 ジュゴンの鳴音特性	54
3-1. 背景	54
3-2. 方法	59
3-3. 結果	62
3-3-1. 基本的音響特性	62

3-3-2. 鳴音特性の日周変化.....	64
3-3-3. 鳴音数の季節変化.....	66
3-3-4. 鳴音数と潮位.....	68
3-4. 考察.....	71
第4章 環境雑音下におけるジュゴン鳴音特性.....	76
4-1. 背景.....	76
4-2. 方法.....	79
4-2-1. 背景雑音と鳴音特性.....	80
4-2-2. 船舶音と鳴音特性.....	80
4-3. 結果.....	84
4-3-1. 背景雑音と鳴音特性.....	84
4-3-2. 船舶音と鳴音特性.....	87
4-4. 考察.....	90
第5章 総合考察.....	93
5-1. 結果の概要.....	93
5-2. 現時点における海中騒音とジュゴンへの影響.....	94
5-3. ジュゴンの保全に関する提言.....	97
謝 辞.....	99
参考文献.....	100
付 録.....	122

第 1 章 緒 言

1-1. 研究背景

1-1-1. 人間活動と海洋生物の軋轢

海洋には多種多様な生物が生息しており、その生態系は多様性に富んでいる。その広大な海から人間は食料をはじめとした様々な資源の恩恵を受けてきた。しかし過去一世紀の間に急速な経済発展によって人間の生活が豊かになる一方、沿岸を中心とした海洋の開発が進み、自然環境の破壊や汚染、乱獲、外来生物による生態系の攪乱によって、各種生物の個体数や生物多様性は 20 世紀以降、急速に減少している (Hassan *et al.*, 2005)。昨今、海洋生態系の保全の重要性が広く認識されつつある。海洋生物やその生息環境を守り、健全な生態系のバランスを維持することは、そこから恩恵を受けている我々人間の生活環境の安定につながる。

陸域と水域の境界域である沿岸域は、一次生産者から高次捕食者まで様々な栄養段階の生物種にとって重要な生息場所である。同時に、沿岸開発、船舶航行、漁業活動などの人間活動が活発に行われる場所でもある。そのため両者の軋轢が頻繁に起こりやすく、深刻な問題となっている。さらには沿岸域における人間活動（特に漁業）は地元住民の生活と密接に関わっている。よって沿岸生態系の保全においては地域の経済・産業活動を考慮し、野生生物と人間の両者が共存できる保全策が望まれる。それを実現するためには、対象海域における人間活動に関する社会学的データ、およびそこに暮らす様々な生物種の行動・生態および生息環境特性に関する科学的データが必要不可欠である。

沿岸性の海産哺乳類は、船舶との衝突、漁業における漁具による混獲、生息環境の破壊といった人間活動の直接的・間接的影響を受けやすい。都市部沿岸の航行量が多い航路上では、船舶と海産哺乳類の衝突事故がしばしば起こっている (Gerstein, 2002; Groom *et al.*, 2004; Knowlton and Brown, 2007; Rommel *et al.*, 2007; Douglas *et al.*, 2008; Deutsch *et al.*, 2009)。また漁具による混獲は、海産哺乳

類における個体死亡の主要因となっている (Hodgson *et al.*, 2007)。これらの問題に対処するため様々な対策が行われてきた。例えば、海洋保護区における船舶航行ゾーンの設定 (FRC, 2007)、航行速度の規制 (Calleson and Frohlich, 2007)、船舶および海産哺乳類の存在を監視・警告するシステム開発 (Knowlton and Brown, 2007; FWC, 2010)、ピンガーに代表される海産哺乳類の忌避装置の使用 (Werner *et al.*, 2006; Carretta *et al.*, 2008) などである。これらの対策は、対象種の保護・保全において一定の成果をあげてきた。しかし人間活動による海産哺乳類への影響は、直接的な個体の死傷事故に限らない。近年、海中騒音が海産哺乳類を含む海洋生物に与える潜在的影響が指摘されている。

1-1-2. 海中騒音が海洋生物に与える影響

環境中の雑音は様々な音源から構成されており、主には自然音と人工音の 2 種にわけられる。産業革命以降、世界中で経済活動が増大し人間の生活が飛躍的に発展するとともに、あらゆる場所において人間活動によって発生する人工音が増加した。騒音の定義は「当該者を不快に感じさせる音」であり、その多くは人工音である。都市部や工業地帯における慢性的な騒音は、時には健康被害をもたらす公害となる。公害レベルに及ばずとも、騒音が人々の生活の質に与える影響は深刻な問題になりうる。我々は不快な騒音を回避しようと行動し、それを回避できない場合はストレスや体の不調として感じる。これは人間だけでなく生物全般にあてはまり、騒音は行動の攪乱、聴覚損傷、生理的ストレスを引き起こす可能性がある。

近年、騒音が野生生物に与える影響について、生物保全の観点から多くの関心を持たれるようになってきた。これまでに陸上生物の様々な種において、騒音による個体への影響評価が行われている (Lusseau and Bejder, 2007; Francis and Barber, 2013; Read *et al.*, 2014)。まず動物は騒音に対して個体の行動を変化させる。個体の行動変化は、騒音を回避するための短期的戦略である。しかし慢性的な騒音環境下では、個体はこれら反応行動を頻繁に行わざるを得ない。その代償として、生息分布の変化、生息域の縮小・分断化による繁殖成功度の低下、

索餌活動にかかるエネルギーコストの増加など個体の適応度に影響し、将来的に個体数減少に繋がる可能性がある（Williams *et al.*, 2006; Lusseau and Bejder, 2007; Knight and Swaddle, 2011; Francis and Barber, 2013）。

海洋における騒音は、船舶航行、工事、浚渫、資源探査、海洋調査、軍事活動などにより発生し、なかでも船舶音は主要な音源である（Richardson *et al.*, 1995; NRC, 2003; 2005; Hildebrand, 2005）。少なくとも過去半世紀のあいだ、船舶の数は増加の一途をたどり、船舶音に由来する海中雑音レベルは倍増した（Andrew *et al.* 2002; McDonald *et al.*, 2006; 2008）。水中における音の伝達は空気中に比べて効率がよい。また透視度の悪い水中において、海洋生物は視覚より聴覚に依存することから、海洋生物における騒音の影響は陸上生物のそれに比べてより深刻である。そのため、海の騒音問題は海洋生物の保全にとって大きな課題の一つとされている。海中騒音が海産哺乳類に与える影響に関する研究は 1970 年代に始まり（Payne and Webb, 1971）、1990 年代以降は関連研究が増加し続けている。2008 年には、移動性の野生動物種の保護に関する条約（ボン条約）締約国会議において海洋の騒音問題が議題にあがり、海中騒音による海産哺乳類の音響コミュニケーションの阻害について問題提起された。2011 年の同会議では、水中ソナー音による海中騒音問題に取り組む決議が採択されており、今後ますます関連研究が重要視されると予想できる。

騒音に対する海産哺乳類の反応は、行動の変化、発声の変化、および生理的变化の 3 つに代表される（Nowacek *et al.*, 2007）。騒音に対する個体の反応行動は、対象個体の行動パターン、空間分布、摂餌効率の時系列変化などにより判断される（Slabbekoorn *et al.*, 2010; Francis and Barber, 2013）。例えば、騒音に対してそれまで継続していた活動を一時的に中断する、他の静かな場所へ移動するなどの回避行動である（Morton and Symonds, 2002; Hildebrand, 2005; Miksis-Olds, *et al.* 2007, Nowacek *et al.* 2007; Weilgart, 2007a）。このような一時的な回避行動が個体の適応度へ与える影響の一例として、船舶航行がシャチ（*Orcinus orca*）を好適な摂餌海域から遠ざけること、その結果として個体の摂餌機会を減少させ、移動コストを増加させることが示唆されている（Williams *et al.*, 2006）。

海中騒音は生物による音の利用を阻害する (Payne and Webb, 1971; Richardson *et al.* 1995; Parks and Clark, 2007; Weilgart, 2007b; Tyack, 2008)。多くの動物は、個体間コミュニケーション、索餌、捕食者の回避に音を利用する。特に個体間コミュニケーションにおいて鳴音は重要な役割を果たしており、個体識別、オスからメスへの求愛、群れの維持、母仔間の結びつきなどの社会行動と深く関連している。動物が発する鳴音は種に固有のものであり、それぞれの生息環境において相手個体に鳴音を伝達するのに最適な音響特性をもつ (Marten and Marler, 1977)。しかし環境中の騒音は、相手個体による対象鳴音の検出・識別を困難にし (Lohr *et al.*, 2003)、その音響通信範囲を狭める (Clark *et al.*, 2009; OSPAR Commission, 2009)。例えば、騒音によってオスからメスへの求愛の鳴音が妨害された場合、繁殖機会を逃す可能性がある。そこで動物は騒音による鳴音のマスキングを回避するため、様々な戦略を持つ。そのひとつが、鳴音特性を変えることで鳴音が騒音にかき消されるのを防ぐ「発声調節」である (Patricelli and Blickly, 2006; Tyack, 2008)。騒音環境下では、通常に比べて音圧や周波数が高い鳴音を発することが、両生類、鳥類および哺乳類の様々な種で報告されている (Lombard, 1911; Slabbekoorn and Peet, 2003; Brumm, 2004; 2006; Brumm *et al.*, 2004; 2009; Sun and Narins, 2005; Warren *et al.*, 2006; Wood and Yezerinac, 2006; Nemeth and Brumm, 2010)。海産哺乳類における発声調節は、シャチやタイセイヨウセミクジラ (*Eubalaena glacialis*) など鯨類で報告がある (Parks and Clark, 2007)。

これまで海産哺乳類の保全において、海中騒音による個体への影響は重視されてこなかった。そのため希少種など一部の種を除き、多くの種において騒音による個体への影響は不明である。研究例が少ない理由の一つに、対象個体を観察することの困難さがあげられる。海産哺乳類は鰭脚類を除いて、その一生を水中で生活する。そのため目視観察で得られるデータは個体が水面に浮上した時に限られ、水中における行動・生態を調べるのが難しい。しかし近年、海産哺乳類の音響観察手法の発展によって、従来の目視観察ではわからなかった水中での個体の行動・生態が明らかになりつつある (海洋音響学会, 2006)。そのひとつである受動的音響観察手法は、海中に録音機器を設置し水中音 (生

物の鳴音)を録音する方法で、ある程度の頻度で発声する種に適用できる。同手法では、対象生物へ負担をかけることなく長期間連続的な音響情報を得ることができ、海産哺乳類の行動生態情報の取得や個体数の推定に利用されている(Mellinger *et al.*, 2007; Akamatsu *et al.*, 2008; Marques *et al.*, 2009; Van Parijs *et al.*, 2009; André *et al.*, 2011)。さらに近年では音響技術の発展とともに、安価で簡便な音響観察が可能となっている。

その他の理由として、野生生物における騒音の影響評価の困難さがあげられる。船舶との衝突や漁具による混獲は可視的であり、個体への負の影響が明確に判断できるのに対し、海中騒音が個体に与える影響は不可視的であり定量的評価が難しい。さらに海中騒音の種類やレベルは海域によって特異的である。また海洋生物における騒音の影響は、音に対する感受性や可聴域の違いから種や個体群によって様々である。そこで特定の生物種における騒音の影響評価の第一歩として、対象海域における騒音源の時空間分布、対象種の可聴域や行動特性、騒音に対する個体の反応行動に関する基礎的データを収集する必要がある。これらの基礎的情報は、対象種における騒音の影響範囲の時空間分布を予測・評価し、実際の保全対策や管理方策を計画する上で必要不可欠である(Moore *et al.*, 2012)。

1-2. 本研究の目的と概要

本研究では、特に沿岸性が強い海産哺乳類ジュゴン (*Dugong dugon*) を研究対象とし、海中騒音の存在下におけるジュゴン発声調節の可能性に着目した。まず、ジュゴンの生物学的・生態学的特性、および対象海域であるタイ国トラン県の環境特性に関する既存研究を概説する。

1-2-1. 対象生物

本研究で対象とするジュゴンは、哺乳綱海牛目ジュゴン科ジュゴン属に属する海産哺乳類である (Figure 1-1)。海牛目にはジュゴンのほかに、マナティ科マ

ナティ属の 3 種、アメリカマナティ (*Trichechus manatus*)、アマゾンマナティ (*Trichechus inunguis*) およびアフリカマナティ (*Trichechus senegalensis*) が現存し、4 種とも絶滅が危惧されている。かつてジュゴン科には大型種であるステラーカイギュウ (*Hydrodamalis gigas*) が存在したが、乱獲により 18 世紀後半に絶滅した。

ジュゴンの成体サイズは、体長約 2.5 m、体重 230～500 kg、出生時サイズは体長約 1 m、体重 20～30 kg である。ジュゴンには性的二型がほとんど見られず、外見から性別を判断するのは困難である。海草類を主食としており、1 日あたり個体体重の 8～10 % に相当する重量の海草を摂餌する。摂餌時には前肢を海底につき、口で海草を根元から掘り起こし食べながら前進する。そのため海草藻場の海底には、摂餌トレイルと呼ばれる浅い溝状の摂餌跡が残る。

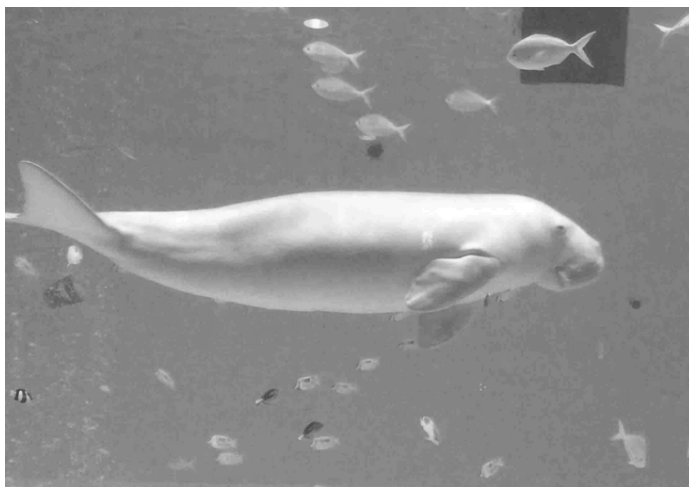


Figure 1-1. A dugong in Toba Aquarium

生息域

ジュゴンはアフリカ東部からインド、東南アジア、およびオーストラリアにかけて、温帯から亜熱帯の沿岸浅海域に分布する (Hines *et al.*, 2002, Figure 1-2)。近縁種マナティには河川など淡水域に生息する個体群がある一方、ジュゴンは海水域のみに生息する。ジュゴンの生息分布は、主に餌とする海草の分布・豊度および水温に依存する (Lanyon *et al.*, 2005; Holley, 2006; Sheppard *et al.*, 2006)。

オーストラリアのシャーク湾に生息するジュゴンは水温の季節変化に応じて生息域を選択し、冬になると暖かい海域へ移動する (Anderson, 1994; Anderson *et al.*, 1986; Holley, 2006)。その移動距離は数百 km におよぶことがある (Sheppard *et al.*, 2006; Hobbs *et al.*, 2007)。



Figure 1-2. Map of the range of the dugongs (from Marsh, 2008)

個体数

ジュゴン個体数は全世界で約 10 万頭と推定されている。ジュゴン個体群は生息域の少なくとも 3 分の 1 の海域において減少または絶滅している (Marsh *et al.*, 2002)。ジュゴンは、IUCN のレッドリストにおいて全ての生息域で危急種、日本の環境省レッドリストにおいて絶滅危惧 IA 類、水産庁のレッドデータブックにおいて絶滅危惧種と位置づけられている。また、オーストラリアを除く全てのジュゴン個体群は、ワシントン条約の附属書 I に含まれており（オーストラリア個体群は附属書 II）、ジュゴン製品の商取引は制限あるいは禁止されている。

本研究で対象とするタイ個体群、生息域の中で最大規模を誇るオーストラリア個体群、および我が国の個体群についてそれぞれ概要を述べる。

(a) タイ個体群

1970 年代以降、東南アジア海域におけるジュゴン個体数は 90%減少した (Marsh *et al.*, 2002)。タイ国では、かつてジュゴンはアンダマン海およびタイ湾に満遍なく分布していた (Adulyanukosol, 1995)。近年は小規模な個体群が点在している状態であり (Asulyanukosol, 1999; 2000; Hines *et al.*, 2005a)、その個体数はアンダマン海で約 200 個体、タイ湾で約 50 個体と推定されている (Adulyanukosol and Thongsukdee, 2005)。同国最大のジュゴン個体群は、アンダマン海沿岸のトラン県ムク島およびタリボン島周辺海域の推定 123 個体である (Adulyanukosol *et al.* 1997; Adulyanukosol, 2000; Hines, 2001, Hines *et al.*, 2005a)。個体の主な死亡要因は、刺し網や定置網などの漁具による混獲であり (Adulyanukodol, 1999; Hines *et al.*, 2005b; Tiptus, 2006; Adulyanukosol *et al.* 2009)、船舶との衝突による死亡例はわずかに報告されている (Adulyanukosol, 1999; 2004; 2010)。また沿岸域における漁業など人間活動が海草藻場の破壊や分断化を引き起こし、これら生息環境の変化が個体群へ与える影響が懸念されている (Hines, 2002; Hines *et al.*, 2005; Tiptus, 2006)。70 年前まではジュゴンは食用に捕獲されていたが、今日では狩猟は禁止されている (Adulyanukosol, 1999)。

(b) オーストラリア個体群

オーストラリア沿岸海域には、世界のジュゴン個体数の 80%強にあたる約 8 万 5 千頭が生息しており、西海岸の西オーストラリア州のシャーク湾から北部準州、東海岸クイーンズランド州モートン湾にかけて分布する (Marsh *et al.*, 1999; 2002)。クイーンズランド州沿岸ではジュゴン個体数が減少しており (Marsh *et al.*, 2005)、その要因として生息域の減少、浸食、漁業、ハンティング、船舶航行などがあげられる (Marsh *et al.*, 1999; 2002; Grech and Marsh, 2008)。特に都市部沿岸では船舶の航行が多く、ジュゴンと船舶の衝突による死傷事故が

問題となっている (Groom *et al.*, 2004; Maitland *et al.*, 2006)。ジュゴンを含む生態系の保全管理のため、沿岸海域には多くの海洋保護区が設定されており、保護海域では刺し網漁業の規制、船舶航行レーンの設定および航行速度の制限などが行われている (Marsh *et al.*, 2002; Groom *et al.*, 2004)。

(c) 日本個体群

ジュゴンは国の天然記念物であり、1993 年より水産資源保護法において保護指定されている。かつては奄美大島以南の南西諸島においてジュゴンの目撃例が数多くあったが、現在では沖縄本島周辺のみに生息しており、その個体数は極めて少ない (粕谷ら, 1999; 2000)。沖縄海域のジュゴン個体群は、地理的に他海域の個体群と隔離されており (Shirakihara *et al.*, 2007)、同海域におけるジュゴン個体群は絶滅の危機にある。近年行われた沖縄本島沿岸におけるジュゴン生息数調査では、生息個体数は 3 頭と推定されている (環境省, 2006; 沖縄防衛局, 2011)。本島北部東海岸沖には大規模な海草藻場が存在し (吉田ら, 2003)、数少ないジュゴンの生息海域となっている。しかし現在、同海域の一部である名護市辺野古沿岸への米軍飛行場の移設が計画されている。環境影響評価法に従って、飛行場の建設工事および施設稼働による環境への影響評価や、影響の回避・低減措置の提案がなされているものの (沖縄防衛局, 2011)、自然環境、ジュゴンおよびその他希少生物への影響が強く懸念される。

生活史

ジュゴンの寿命は 50～70 年と長い。性成熟は 8～18 才の間に起こり、メス成体は生涯に数回出産をする。妊娠期間は 13～15 ヶ月で、一度に 1 仔を出産する。仔は 14～18 ヶ月になるまで母乳に依存する。一般的な中型・大型哺乳類に見られるように一世代あたりの時間が長く、それぞれの仔の世話にかかる時間は長期間にわたる。このような生活史から個体群の年間自然増加率は 5%以下と低く、一度個体数が減少するとその回復に長い時間を要する。

行動

ジュゴンは主に海草藻場付近に分布し (Marsh and Rathbun, 1990)、1 日のうち約半分の時間を 1.5 m 以浅で、72%の時間を 3 m 以浅のきわめて浅い海域で過ごす (Chilvers *et al.*, 2004)。1 日の時間のうち、41%を摂餌、32%を移動、18%を水面への浮上・下降、その他を休息や社会行動に費やす (Hodgson, 2004)。摂餌行動は終日行われており (Anderson and Birtles, 1978; Anderson, 1998)、特に夜間に多く観察される (Tsutsumi, 2005; Tsutsumi *et al.*, 2006; Amamoto, 2009)。オーストラリアにおける野生個体の観察から、ジュゴンの行動は潮汐サイクルに従い、満潮時は沿岸、干潮時は沖で過ごす傾向がある (Anderson and Birtles, 1978; Sheppard *et al.*, 2009)。また日中は沖で過ごし、夜間に沿岸へ来遊する (Sheppard *et al.*, 2009)。干潮時に干潟になる潮間帯の藻場を好み、主に夜間の満潮時に来遊して摂餌する (Tsutsumi, 2005; Tsutsumi *et al.*, 2006; Amamoto, 2009; 向井 2009) ジュゴン母仔の結びつきは極めて強く、オーストラリアやタイの生息域では寄り添う母仔ペアが度々観察される (Anderson and Birtles, 1978; Anderson, 1984; Adulyanukosol *et al.*, 2003; Adulyanukosol, 2010)。ジュゴンは単独や母仔ペアで観察されることが多いが、100 個体以上の大きな群れを形成することもある (Anderson, 1997; Hodgson, 2004; Adulyanukosol, 2010)。

発声行動

ジュゴンはハクジラ類のホイッスルに似た中周波数帯の鳴音を発する (例えば Anderson and Barclay, 1995; Ichikawa *et al.*, 2003)。他の動物と同様に、鳴音を個体間コミュニケーションに利用する。飼育ジュゴンの観察から、個体が活動的なときおよび他個体との接触時に発声が多い (Hishimoto *et al.*, 2005; Hishimoto, 2007)。タイにおける野生個体群の発声行動には概日・概潮汐リズムがみられ、夜間および小潮時にジュゴンの鳴音検出率が高い (Ichikawa *et al.* 2006; Ichikawa, 2007; Matsuo, 2014)。またジュゴンが発声する場所は特定の海域に限られている (Ichikawa *et al.* 2009; 2012)。

人間活動の影響

ジュゴンは船舶の航行に対して回避行動を示す。1 km 先を船舶が通過した際はより深い場所へ移動し (Preen, 1992)、50 m 以内に船が接近した際は摂餌を中止して泳ぎ去る (Hodgson and Marsh, 2007)。船舶の航行速度によって個体の反応は異なり、低速で接近する船舶 (15 km/h) に対しては泳ぎ去る一方、高速で接近する船 (50 km/h) に対しては反応を示さない (Hodgson, 2004)。船舶の接近により群れが離散する (Adulyanukosol, 2010)。マナティにおいても、接近する船舶に対して深場へ泳ぎ去る、遊泳速度を上げるといった反応行動がみられ (Nowacek *et al.*, 2004)、その反応は船舶の航行速度によって異なる (Miksis-Olds *et al.*, 2007)。

フロリダマナティにおいては、船舶による個体への影響について多くの研究が行われてきた。フロリダ都市部の河川は船舶交通量が多く、マナティと船舶との衝突が頻繁に起こっている (U.S. Fish and Wildlife Service, 2001; Marsh *et al.*, 2011)。フロリダ水域で報告されたマナティ死亡個体のうち、半数以上の死因は人為的要因に由来し、少なくとも 25% が船舶との衝突によるものである (Gerstein, 2002; FWC, 2007; Deutsch *et al.*, 2009)。船舶衝突問題を解決するためには、まずマナティの生息特性を把握する必要がある。そこで 1970 年代よりマナティの行動生態および個体群動態に関する研究が多く行われ (U.S. Fish and Wildlife Service, 2001; FWC, 2007)、さらに 2000 年代にはマナティ衝突回避システムを構築するためのプロジェクト研究が始まった。これまでに、特定の水域において船舶の航行速度制限ゾーンが設定され (Laist and Shaw, 2006; Calleson and Frohlich, 2007)、マナティの存在を船に警告するアラームおよび忌避装置の開発が行われた (Deutsch *et al.*, 2009; FWC, 2010)。これら開発の基礎研究として、マナティの行動生態学的研究のほか、可聴域、鳴音特性、音響測位など多くの音響学的研究が行われている (Gerstein *et al.*, 1999; Niezrecki *et al.*, 2003; Phillips *et al.*, 2004; 2006; Yan *et al.*, 2005; Mann *et al.*, 2006; O'Shea and Poche, Jr., 2006; Gur and Niezrecki, 2007; Miksis-Olds *et al.*, 2007; Muanke and Niezrecki, 2007)。

1-2-2. 対象海域

本研究ではタイ国トラン県の沿岸海域を調査対象とする。トラン県はタイ国南部アンダマン海沿岸に位置する面積約 4,918 km² (46 の島々を含む) の自治体である (Figure 1-3)。沿岸部は砂浜およびマングローブ林が続き、海岸の一部はハドチャオマイ海洋国立公園 (Had Chao Mai Marine National Park) となっている。トラン県の気候は 5~10 月の雨季および 11~4 月の乾季に分けられ、雨季は南西モンスーン、乾季は北東モンスーンの影響を強くうける。主な産業は農業、漁業、工業および観光業である (Hines *et al.*, 2002)。

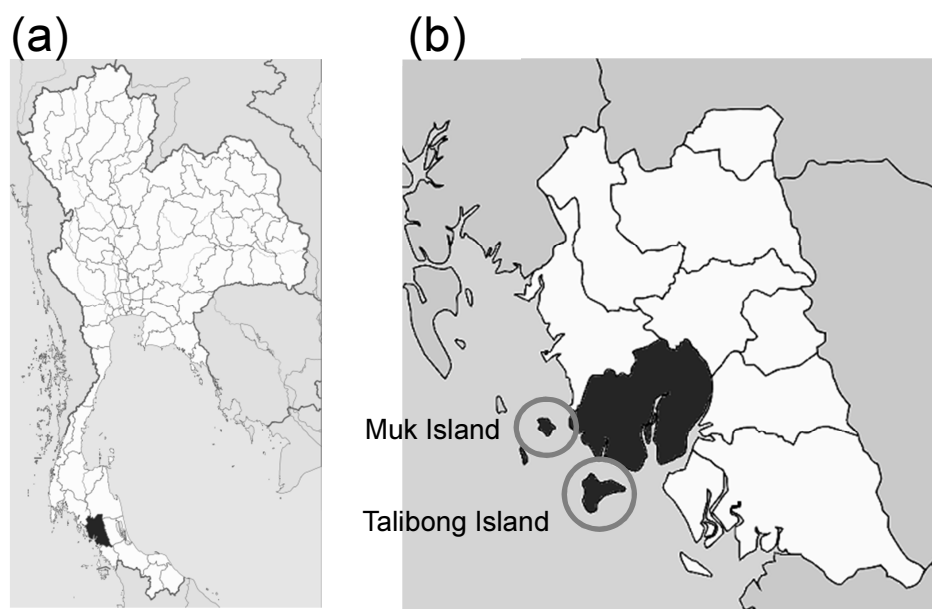


Figure 1-3. Map of Thailand (a) and Trang Province (b). Black regions indicate Trang Province and the Kantang district, Trang Province, respectively.

海草藻場

海草藻場は一次生産量が高く、魚類や甲殻類など水産有用種のほか、ジュゴンやウミガメなど希少種の生息場所でもあることから、沿岸生態系において重要な役割を持つ。タイ国では 1993 年以降、アンダマン海およびタイ湾沿岸海域において本格的な藻場調査が行われてきた (Chansang and Poovachiranon, 1994; Poovachiranon and Chansang, 1994; Poovachiranon and Adulyanukosol, 1999;

Nakanishi *et al.*, 2005; 2006; Poovachiranon *et al.*, 2006; Adulyanukosol, 2010)。トラン県カンタン地区沿岸に位置するムク島およびタリボン島周辺 (Figure 1-3b) には同国最大の海草藻場が分布している (Poovachiranon *et al.*, 2006; Adulyanukosol, 2010)。タリボン島周辺に広がる海草藻場の面積は総計 14 km² と推定される (Poovachiranon and Adulyanukosol, 1999)。なかでもタリボン島東部沿岸の海草藻場はその面積が 6 km² と最大規模であり (Chansang and Poovachiranon 1994)、*Halophila ovalis* を中心に 10 種の海草が分布する (Nakanishi *et al.*, 2005; 2006, Figure 1-4)。1990 年代以前における海草藻場の質や豊度に関する状況は不明であるが、2006 年時点においてトラン沿岸域の海草藻場の状況は良好である (Poovachiranon *et al.*, 2006)。しかし近年、プッシュネットやトロール網といった漁具、陸域から流出する土砂やエビ養殖場から排水される化学物質による海草藻場の破壊・消失が懸念されている (Marsh *et al.*, 2002; 2011; Poovachiranon *et al.*, 2006)。

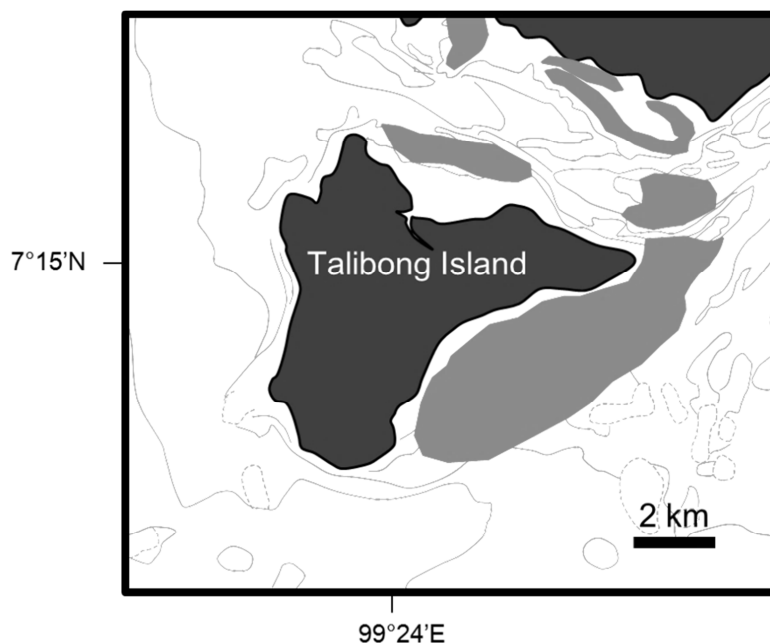


Figure 1-4. Distribution of seagrass beds around Talibong Island (revised from Nakanishi *et al.*, 2005)

1-2-3. 本研究の目的

本研究では、人間活動がジュゴンの行動に与える影響について、音響学的視点から明らかにすることを目的とした。主に水中音響データを用いて環境情報とジュゴン鳴音を定量化し、海中騒音の存在下におけるジュゴンの発声調節を検証して新たな知見を得ることとした。

ジュゴンは絶滅が危惧される海産哺乳類であり、生息域の大部分で早急な保全対策が必要とされている。その生息域は沿岸浅海域に集中しており、漁業など多くの人間活動域と重複している。そのためジュゴンにおいても人間活動およびそれに起因する海中騒音の影響が懸念される。

動物にとって騒音が問題となりうるのは、騒音が個体の可聴域範囲内の音であるとき、および個体が利用する音と重複するときである。海牛類の可聴域は、ジュゴンでは 24 Hz～27 kHz (Iwashina, 2008)、マナティでは 15 Hz～46 kHz (Gerstain and Gerstain, 1999) である。主な鳴音周波数は、ジュゴンでは 3～8 kHz (Ichikawa *et al.*, 2003)、マナティでは 1.07～8 kHz (Sousa-Lima *et al.*, 2002) である。海中騒音の主音源は船舶音であり、その音響エネルギーは主に低～中周波数帯に集中する (Richardson *et al.*, 1995; NRC, 2003; Hildebrand, 2009)。ジュゴンの可聴域および鳴音周波数はともに一般的な船舶音の周波数と重複している。ジュゴンおよびマナティともに接近する船に対して回避行動を示すことから (Preen, 1992; Gerstein, 2002; Hodgson, 2004; Nowacek *et al.*, 2004; Miksis-Olds, 2006; Hodgson and Marsh, 2007; Miksis-Olds *et al.*, 2007)、船舶音を認識する能力があり、船舶音が彼らの音利用を妨げる可能性は高い。しかし騒音がジュゴンの行動へ与える影響について、船舶航行に対する反応行動に関する研究が数例 (Preen, 1992; Hodgson, 2004; Hodgson and Marsh, 2007)、人工音に対する鳴音反応に関する研究が 2 例 (Hodgson *et al.*, 2007; Sakamoto *et al.*, 2006; Sakamoto, 2007) あるのみである。

多くの海産哺乳類と同様、ジュゴンは鳴音を用いて個体間コミュニケーションを行う。騒音がジュゴンの発声行動を変化させる可能性が示唆されているものの (Sakamoto *et al.*, 2006; Sakamoto, 2007)、騒音による音響コミュニケーション

ンへの影響はほとんど不明である。そのため騒音という観点からジュゴン保全策を論じるにもデータが不十分である。よって騒音下における発声調節を調べることは、騒音によるジュゴンの音響コミュニケーションへの影響に関する基礎的研究として意義深い。また動物の鳴音はその行動と密接な関係にあることから、騒音下における鳴音特性を理解することは、騒音による音響コミュニケーションへの影響を明らかにするだけでなく、行動への影響を推察する上でも一助となる。

本研究の対象域であるタイ国トラン県タリボン島は小規模沿岸漁業を中心とする地方の漁村である。その周辺海域は、ジュゴンの最大生息海域であるオーストラリア都市部沿岸と比べて、人間活動が少なく海中雑音レベルは低いと予想される。一般に動物は騒音に対する慣れがあり、長期間、騒音環境下に生息する個体は、騒音に対する感受性や反応が鈍化する (Richardson *et al.*, 1995; Hildebrand, 2005)。よって本研究では騒音が少ない環境下におけるジュゴンを対象とすることで、騒音に順応していない個体における騒音の影響を明らかにできると考えられる。

対象海域における海中雑音に関する音響学的研究は皆無である。また海中騒音の主音源である船舶の航行頻度やパターンに関するデータはなく、その航行状況は全く不明である。よって、まずジュゴン生息環境における海中雑音特性について、騒音の主音源である船舶の航行特性とともに基礎的情報を取得し、現状を把握する必要がある。

ジュゴンの鳴音の周波数や持続時間といった基本的音響特性について、これまでに Anderson and Barclay (1995) や Ichikawa *et al.* (2003) などいくつかの報告がある。動物の音響コミュニケーションにおいて発声と行動は深く関連することから、鳴音特性の変化は個体の行動変化を現す重要な要素である。ジュゴン野生個体の発声頻度は時間帯によって変動することが報告されているが (Ichikawa *et al.*, 2006)、その他鳴音特性の時系列変化は不明である。発声頻度と同様に、鳴音の持続時間、周波数、音圧レベルといった特性の時系列変化を明らかにすることは、時系列における物理環境の変化やそれに伴う個体の移動パ

ターン、個体の活動度との関連性を推察する上で重要である。

本研究では、先行研究におけるジュゴン鳴音の基礎的知見に加え、ジュゴン生息環境の音響特性、ジュゴン鳴音特性、および雑音下におけるジュゴン鳴音特性を調べることで、騒音環境下におけるジュゴンの発声調節を検証し、現時点における対象海域の海中騒音とジュゴンへの影響を明らかにする。これらの結果に基づき、騒音の影響を最小限に留めるための今後のジュゴン保全に関する提言をすることで、社会への貢献を目指す。

1-2-4. 本研究の構成

本論文は 1) ジュゴン生息環境の音響特性、2) ジュゴン鳴音特性、および 3) 雑音下におけるジュゴン鳴音特性、の三部から構成される。

第 1 章では、海中騒音および海洋生物における騒音影響評価に関する研究の現状を概説して背景をまとめるとともに、本研究の意義及び目的を述べた。第 2 章では、ジュゴン生息環境の音響特性を把握するため、対象海域における人間活動および海中雑音の時系列動態について明らかにした。海中騒音の主音源は船舶であることから、人間活動を代表するものとして船舶航行に注目した。まず実際の船舶航行状況を調べるため、地元住民に船舶の操業に関するインタビュー調査を行った（第 1 節）。また対象海域で録音された水中音を解析し、背景雑音レベルおよび船舶航行数の時系列変化を調べた（第 2 節）。第 3 章では、ジュゴン鳴音の基本的音響特性およびその時系列変化を明らかにした。第 4 章では、海中騒音下におけるジュゴン発声調節に関する基礎的情報を得るため、騒音下におけるジュゴンの鳴音特性について明らかにした。まず、持続的な騒音下における発声調節を検証するため、背景雑音レベルと鳴音特性の関係について解析した。次に、一時的な騒音下における発声調節を検証するため、船舶音前後における鳴音特性を解析した。第 5 章では本研究の結果をまとめ、対象海域における海中騒音の現状を把握し、そのジュゴンへの影響について考察した。そして本研究がジュゴンと生態系の保全へどのように貢献しうるか議論した。

第2章 ジュゴン生息環境の音響特性

2-1. 第1節 社会学的アプローチ

2-1-1. 背景

海中には様々な雑音が存在する。雑音とは着目する音以外の様々な音源からなる音の総称である。海中雑音の音響特性は、対象海域における自然現象や人間活動に応じて大きく変動する。騒音によるジュゴンへの影響を明らかにする上で、海域固有の海中雑音特性は基礎的情報として不可欠である。しかし、対象海域における海中雑音の動態は全く不明である。第2章では海中騒音の主音源である船舶に注目し、ジュゴン生息環境において社会学的視点および音響学的視点からその特性を明らかにすることを目的とした。第1節では、対象海域における船舶航行状況を明らかにすることを目的に、地元住民にインタビュー調査を行った。第2節では海中雑音の時系列動態を把握することを目的として、対象海域で録音した水中音を解析した。

まず本節で調査対象としたトラン県ムク島およびタリボン島の特徴について述べる。ムク島には東部に1村があり、島内には近年開発された6リゾートが存在する。ムク島まではトラン県およびトラン県の北に位置するクラビ県の本土からロングテールボート（後述）と呼ばれる小型船およびフェリーで容易にアクセスすることができる。乾季には多くの観光客がムク島を訪れるため、多くの住民がリゾート施設や土産物屋で働くなど観光業に携わる。その他に、住民は小規模沿岸漁業あるいはゴムプランテーション農業を営む。

タリボン島は面積約40 km²のトラン県最大の島である。同島には4村がある一方で観光開発はあまり進んでおらず、島西部に1リゾートのみが存在する。住民や観光客はロングテールボートを使って、本土のハドヤオ港と同島間を往来する。タリボン島を訪れる観光客は少なく、小規模沿岸漁業やゴムプランテ

ーションによって細々と生計を立てる住民が多い。

タリボン島はリボン諸島野生生物保護区 (Libong Archipelago Wildlife Reserve) の一部であり、狩猟禁止区域のひとつとなっている。また同地域はハドチャオマイ海洋国立公園およびトラン河川河口部 (Trang River Estuaries) とともに、ラムサール条約 (No. 1182) に登録され、その自然環境が保全されている。加えて、同海域沿岸 3 km 以内では、大規模な商業漁業の操業が制限されている。1980 年代以降、NGO 団体 (Yadfon Association 等) がトラン県の地元住民に対して自然保護教育を行い、自然資源の持続的利用・管理の重要性を説明してきた。そのため地元住民および自治体は、ジュゴンを含む自然環境保護への関心が比較的高い (Johnson, 2007)。

トラン県沿岸海域を航行する船の多くは、ロングテールボートと呼ばれる木製小型船である (Figure 2-1a)。ロングテールボートは航行速度が遅いが小回りが利きやすく、タイ国で最も普及している小型船である。ロングテールボートの多くは自動車エンジンを搭載しており、エンジンに連結したプロペラ付きシャフトを動かして舵をとる。地元漁業者は主にロングテールボートを使って小規模沿岸漁業を営む。また近年では、プレジャーボート (Figure 2-1b) やフェリー (Figure 2-1c) などの観光船が増加している。しかし対象海域において、これら船舶が活動する時間帯など航行状況に関するデータは皆無である。そこで本節では、ムク島およびタリボン島周辺の村において地元住民にインタビュー調査を行い、航行する船舶の種類、季節および時間帯を明らかにすることを目的とした。



Figure 2-1. Boat types around Muk-Talibong Islands. Local fishermen usually use (a) the long-tailed boat with automotive engine, (b) powered boat and (c) ferry

2-1-2. 方法

インタビュー調査

トラン県 10 自治体のうち、ムク島およびタリボン島を含むカンタン地区を調査対象とした (Figure 1-3 および Figure 2-2)。2010 年 11 月 20 日および 22 日に、トラン県カンタン地区にあるムク島の 1 村ムク村 (Muk)、本土の 1 村ムタノイ村 (Mod Tanoi)、タリボン島の 3 村バトゥプテ村 (Batuputae)、ランカオ村 (Langkhao) およびプロウ村 (Prouw) において、地元住民へインタビュー調査を行った (Figure 2-2)。タイ語の質問票 (付録) をもとにして、計 9 名の現地学生と分担して各村を回った。ムク島およびタリボン島の人口は、それぞれ約 1500 人および約 3000 人である。なお同地区の人口統計データは曖昧な記載が多く不確実であった。そこで標本数を決定する際、過去のインタビュー調査を参考にした (Sulong and Chealee 2004; Chatchawanchonteera and Semsan 2005; Jantho and Khankhachon 2005; Petchkaew and Yaming 2005; Nammoontree and Phetbua 2006; Noomun and Pogkrong 2006; Sangarun and Hengbunmee 2007)。これら調査は、タリボン島およびムク島における漁業の状況および住民のジュゴン保全意識に関する研究のために行われたものである。

インタビュー対象者は日常的に船を利用する漁業者および観光業者とし、質問項目は漁業者用と観光業者用をそれぞれ作成した (付録)。漁業者に対する質問項目は、対象者の年齢、経験年数、船タイプ、船サイズ、漁獲対象種、使用漁具、各漁獲対象種における操業月および操業時間とした。観光業者に対する質問項目は、操業年数、船タイプ、船サイズ、操業月および操業時間とした。またそれぞれの操業海域を把握するため、対象者に質問票の地図上に操業海域を描いてもらった。

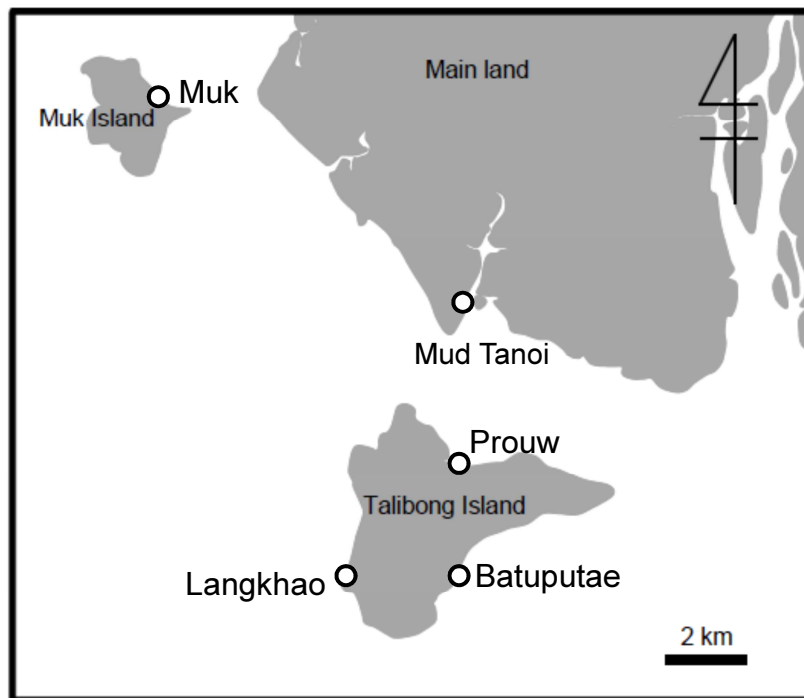


Figure 2-2. Study site in Kantang district, Trang Province, Thailand. The locations of five villages were marked as circles.

2-1-3. 結果

2 日間のインタビュー調査で、漁業者 103 人および観光業者 15 人の回答を得た (Table 2-1)。各村における調査対象者数は、漁業者ではムク村 29 人、ムタノイ村 15 人、プロウ村 5 人、バトゥプテ村 21 人、およびランカオ村 33 人であった。観光業者はムク村 8 人、ムタノイ村 1 人、およびプロウ村 6 人であった。なお、5 村において漁業者の特徴に差異はみられなかったため、後の解析では 5 村のデータをまとめて扱った。

Table 2-1. Number of respondents in each village

Villages	<i>n</i>	
	Fishermen	Tourism officers
Muk	29	8
Mod Tanoi	15	1
Prouw	5	6
Batuputae	21	-
Langkhao	33	-
Total	103	15

(1) 漁業者

(a) 基本情報

回答を得た漁業者の年齢は 17～74 才にわたり、平均年齢は 42.2 才であった ($n = 103$)。半数以上 (59 人 ; 57.3%) の漁業者が 20 年以上漁業を営んでいた。漁業者の多くは、エンジン付きのロングテールボートを使用していた (96 人 ; 93.2 %、Figure 2-3)。船サイズについて船体長 5 m 以下、6～10 m、11～15 m、および 16 m 以上と区分したところ、船体長 6～10 m の船が最も多く使われていた (59 人 ; 57.3%、Figure 2-4)。船を所有していない雇われ漁業者も少数存在した。

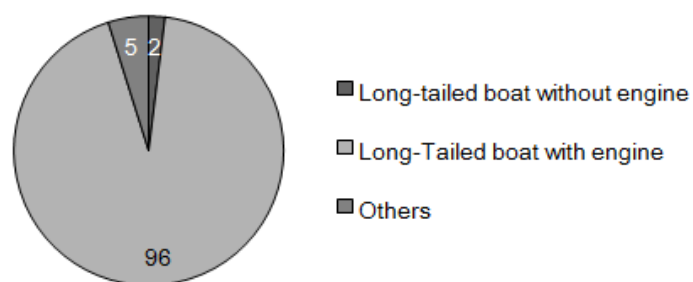


Figure 2-3. Boat type for local fisheries

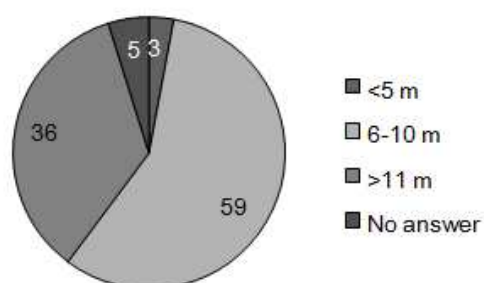


Figure 2-4. Boat size for local fisheries

(b) 使用漁具および対象魚種

漁業活動において刺し網およびかご網が多く使用されており、釣り針も比較的多く使われていた（Figure 2-5）。ほとんどの漁業者は複数の漁具を使用し、甲殻類、頭足類および魚類を漁獲していた。イカ漁業では専用のかご網および釣り針が使用されていた（Figure 2-6）。漁業者はかご網（Figure 2-6a）を海底に2ヶ月間常設し、毎日チェックしていた。

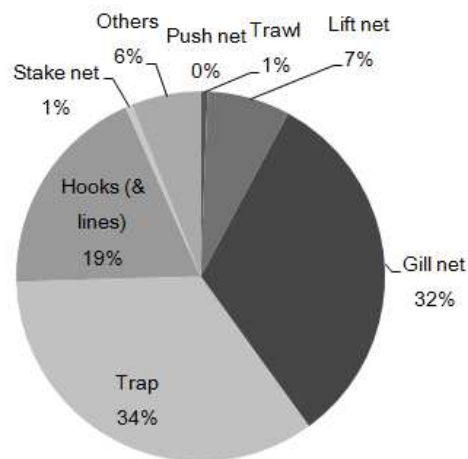


Figure 2-5. Fishing gears

(a)



(b)



Figure 2-6. (a) Traps and (b) hooks for squid fishing

(c) 操業月および操業時間

漁業者は通年で活動しており、11 月および 12 月に若干回答数が多かった (Figure 2-7)。漁獲対象種によって操業月および操業時間は多少異なり、甲殻類を対象とした操業は 7 月から 10 月に集中していたのに対し、頭足類を対象とした操業は 8 月から翌 4 月にかけて行われていた。漁業者は主に早朝から夕方 (5

～18 時) にかけての日中に活動しており、特に朝に集中していた (Figure 2-8)。
 漁業者はほぼ毎日、朝 (5～7 時) および夕方 (17～18 時) に網をチェックしていた。漁獲物が網にかかっていた場合、早朝から昼 (5～12 時) に網を揚げていた。漁業者の多くは、港から 3 km 以内の近場で操業していた。

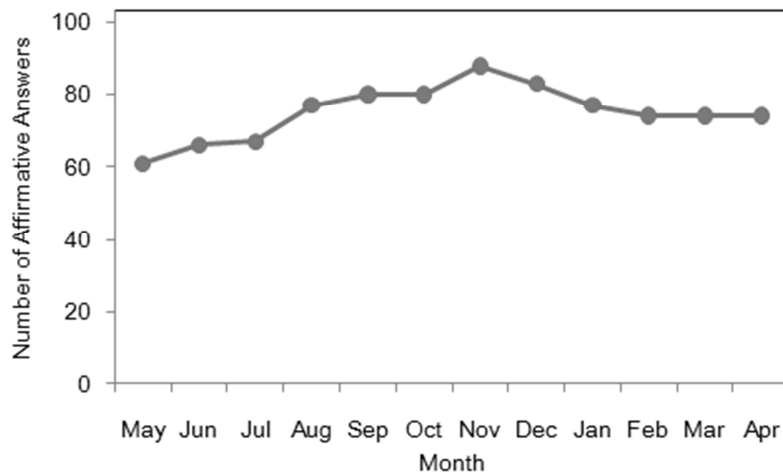


Figure 2-7. Operation months of fishing boats ($n = 103$): vertical axis indicates the number of affirmative answers

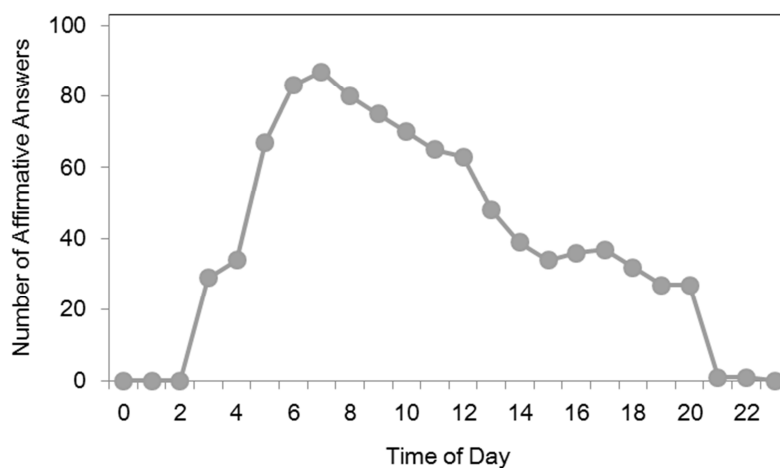


Figure 2-8. Operation hours of fishing boats ($n = 103$)

(2) 観光業者

(a) 基本情報

回答した観光業者の経験年数は2～15年で、平均7.7年であった。15業者のうち1業者は人員輸送のみ、11業者はガイドツアーのみであった。3業者は人員輸送およびガイドツアーの両方を行っていた。15業者のうち10業者はエンジン付きのロングテールボートを所有していた（66.7%、Figure 2-9）。3業者はエンジン付き小型船を、1業者はフェリーを所有していた。3業者はガイドツアー時に船をレンタルして操業していた。船体長11 m以上の船が多く使用されていた（11業者；73.3%、Figure 2-10）。

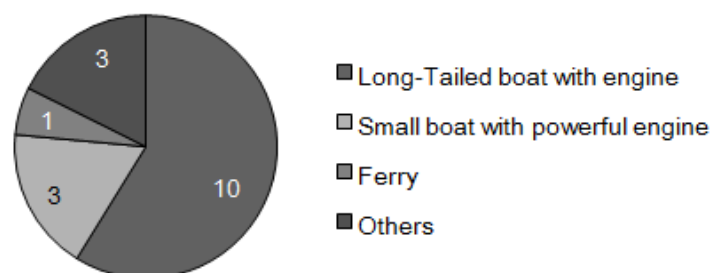


Figure 2-9. Boat type for guided tours

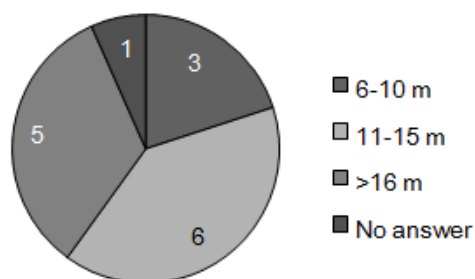


Figure 2-10. Boat size for guided tours

(b) 操業月および操業時間

人員輸送船は通年で操業していた。ガイドツアー船は1業者を除き11月から翌5月の乾季のみ操業していた（Figure 2-11）。主に8時から17時の間に活動していた（Figure 2-12）。

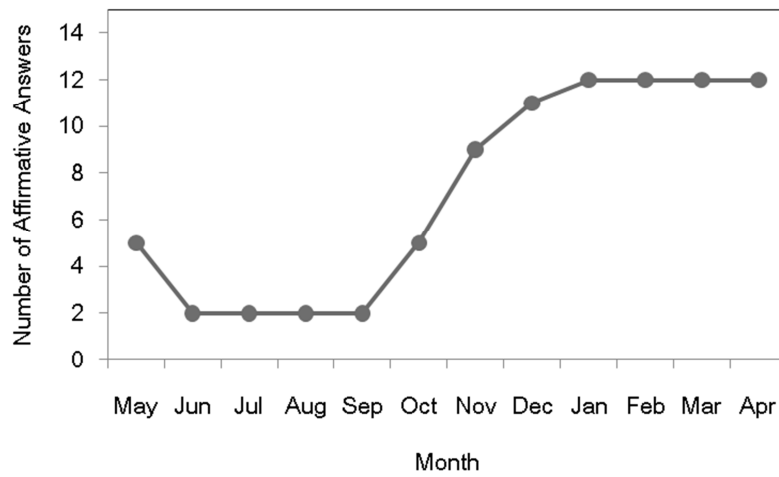


Figure 2-11. Operation months of guided tour boats ($n = 15$): vertical axis indicates the number of affirmative answers

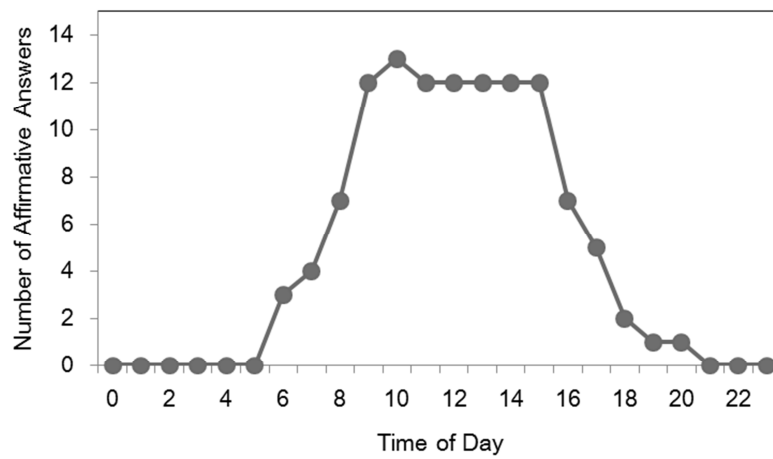


Figure 2-12. Operation hours of guided tour boats ($n = 15$)

2-1-4. 考察

ムク島およびタリボン島周辺海域において、漁船および観光船ともにロングテールボートが多く使われていた (Figure 2-3; 2-9)。漁船は1年を通して航行しており (Figure 2-7)、漁獲対象種によって操業時期は異なった。漁業者へのインタビューにおいて、雨季のなかでも7月から10月にかけては風が強く海は荒れるものの、抱卵したカニが多く獲れるという回答が多くあった。これらの回答は、タリボン島周辺海域で8月から11月にかけてタイワンガザミ (英名 Blue swimming crab; 学名 *Portunus pelagicus*) の抱卵メス個体が多い (Nitiratsuwan *et al.*, 2010) こととほぼ合致していた。漁業者の多くは漁獲対象種を厳密に決めておらず、その時期に網にかかるものを獲る。また同海域では、魚種ごとの資源量調査はあまり行われていない。そのため漁業者の活動と特定魚種の豊度の関連性について詳細はわからなかった。

観光船の多くは乾季にあたる11月から翌5月のみ活動していた (Figure 2-11)。乾季には多くの観光客がトラン県沿岸部や島を訪れ、シュノーケリングなど海のレジャーや船による各島観光ツアーを楽しむ。漁業者の一部は乾季に収入を得る手段として、船を使ってガイドツアーを行っていた。またインタビュー調査の自由回答において操業曜日に関する回答があった。オーストラリア・モートン湾のジュゴン生息海域を航行する船舶は、その約80%がレクリエーションを目的とした個人所有の小型船であり、その航行数は平日に比べて週末および休日には3倍に増加する (Preen, 1992; 2001)。一方、本対象海域では操業目的の多くが漁業であるため曜日による航行数の変化は小さく、むしろ天候や漁業者自身のモチベーションに依存していた。

活動時間帯に関して、漁船および観光船ともに多くは日中に操業していた (Figure 2-8; 2-12)。漁船の操業時間は、特に早朝から昼に集中していた。一般的な操業パターンとして、夕方に投網を行い翌朝に網をチェックし、漁獲物が網にかかっていた場合は朝から昼にかけて揚網していた。観光船は客の要望に応じて日中に活動していた。

対象海域では大規模な商業漁業が規制されているため、同海域を航行する船の多くは地元住民のロングテールボートである。トラン県への観光客は年々増加しており（Tourism Authority of Thailand, 2006）、今後、観光開発によってプレジャーボートやフェリーなどの観光船の航行が増加することが予想される。ただし現時点では、観光船は漁船に比べて圧倒的に数が少なく、さらに乾季のみの操業であった。したがって現時点において対象海域の船舶航行状況は主に漁船の活動を反映しており、漁業が活発に行われる 11～12 月の日中、特に朝に最も多いと考えられる。

本節のインタビュー調査によって、調査海域を航行する船舶の種類と航行する季節・時間帯が明らかになった。対象域は発展途上国の地方の村であり、各村の船舶登録数といったデータが無いことが多く、正確な統計データを得るのが困難である。本節ではインタビュー調査によって、船舶の活動状況を把握することができた。しかし船が航行する場所は船主の目的、気分、天候によっても変わるため、実際に利用されている海域を特定するのは困難であった。調査海域内における人間による空間の利用について把握するためには、漁船に GPS を一定期間装着するインタビュー以外の方法による調査が必要である。

2-2. 第2節 音響学的アプローチ

2-2-1. 背景

海中雑音の音響特性について一般的な記述は数多い。例えば、海中雑音はその周波数帯によって大きく3つに分けられる (Hildebrand, 2009)。低周波数帯の音 (< 500 Hz) は主に船舶に由来し、水中での減衰が少ないため長距離伝搬する。中周波数帯の音 (500 Hz~25 kHz) は波浪や降雨などの自然現象および小型船舶や一部の軍事ソナーなど地域的な音源に由来し、低周波音に比べて長距離伝搬しない。高周波数帯の音 (>25 kHz 以上) は魚群探知の高周波ソナーや海洋調査など特殊な人間活動に由来し、水中での減衰が大きいため近距離のみに伝搬する。

雑音のうち、特定の方向からの音源に由来しない雑音を背景雑音と呼び、背景雑音レベルは環境中における騒々しさの指標となる。海中騒音の主音源は船舶であり (Richardson *et al.*, 1995)、船舶航行が多い海域では背景雑音レベルも高くなる。沿岸浅海域における海中雑音の音響特性は、海域、季節、時間帯による変動が大きいため、それぞれ海域固有の雑音特性を調べる必要がある。

本研究の対象であるタイ国トラン県沿岸海域における海中雑音について、その音響学的研究は数少ない。トラン県沿岸ムク島およびタリボン島周辺ではジュゴン鳴音 (Ichikawa *et al.*, 2006; 2009; 2012; Ichikawa, 2007) およびテッポウエビのパルス音が多く検出される海域がある (市川ら, 2009)。またタリボン島東部沿岸の潮間帯では、ジュゴンが海草を食べる際の摂餌音が録音されている

(Tsutsumi, 2005; Tsutsumi *et al.*, 2006)。このように一部の生物音についての報告はあるが、海中雑音に関する研究は無く、対象海域で、いつ、どのような雑音が存在するのか不明である。

本節では、ジュゴン生息海域における海中雑音の時系列動態を調べ、それら雑音レベルの変動要因を明らかにすることを目的とした。対象海域で録音された水中音データを用いて、背景雑音レベルの時系列変化を調べた。また船舶音

の特性および船舶出現パターンの時系列変化を調べ、第 1 節のインタビュー調査で得た船舶航行パターンとの比較を行った。

2-2-2. 方法

水中音データ

対象海域はタイ国トラン県タリボン島沿岸域である (Figure 2-13)。タリボン島南東部沿岸の砂泥海底に設置した録音機器 AUSOMS-D (詳細は後述) によって、2006 年 11 月 16 日 10 時から 23 日 9 時、および 2008 年 1 月 11 日 10 時から 21 日 5 時に録音された水中音データを用いた (Table 2-2)。また 2004 年に同海域で録音された水中音データの解析結果を一部使用した (Sakamoto, 2007)。録音機器設置場所の水深は約 5 m で潮汐によって ± 2 m 程度の水深変化がある。乾季における同海域の平均表面水温は約 29 °C である (Ichikawa, 2007)。

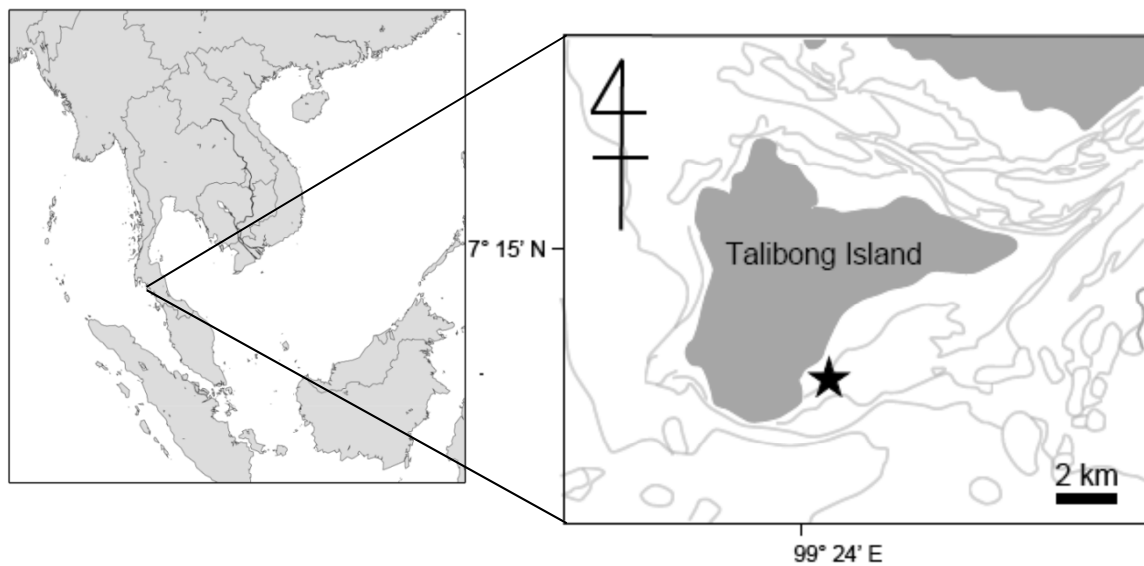


Figure 2-13. Study area around Talibong Island, Trang, Thailand. Recording site is marked as a star.

Table 2-2. Underwater sound data recorded in 2004, 2006, and 2008

	November 2006	January 2008	February & March 2004
Location	N 07°12.908', E99°24.071'	N 07°12.760', E99°24.079'	N 07°12.908', E99°24.071'
Recording period	1000h, Nov.16 – 1000h, Nov.23	(1) 0800h, Jan.11 – 0500h, Jan.15 (2) 1100h, Jan.17 – 0500h, Jan. 21	(1) 1000h, Feb.21 – 1000h, Feb.26 (2) 1000h, Feb.28 – 0600h, Mar.4
Duration of data	168 h	180 (93+87) h	165 (48+117) h
Recording device	AUSOMS-D ver.2.0	AUSOMS-D ver.2.0	AUSOMS-D ver.1.0

録音機器

京都大学大学院情報学研究科生物圏情報学講座ではステレオ式自動水中音録音システム（AUSOMS-D: Automatic Underwater SOund Monitoring System for Dugong、システムインテック社。詳細は Shinke, 2007 ; Figure 2-14）を開発・応用したジュゴンの受動的音響観察を行ってきた。同システムによってジュゴンの発声や摂餌行動に関する新たな知見が蓄積されている（Ichikawa, 2007; Ichikawa *et al.*, 2003; 2006; 2009; 2011; 2012; Tsutsumi, 2006; Tsutsumi *et al.*, 2005; 2006; Amamoto, 2009; Amamoto *et al.*, 2009）。

AUSOMS-D 本体から延びた 2 本のケーブル（最長 20 m）の先には、それぞれハイドロフォンがついている。ハイドロフォンの指向性および感度を Figure 2-15 に示す。サンプリング周波数は 44.1 kHz、分解能は 16 bit、音データはリムーバブルハードディスクに .wav 形式で保存される。2006 年調査で使用した AUSOMS-D version 2.0 の場合、最大 168 時間の連続録音が可能である。



Figure 2-14. Automatic Underwater Sound Monitoring System for Dugongs version 2.0 (AUSOMS-D, System Intec, Co. Ltd., Tokyo, Japan)

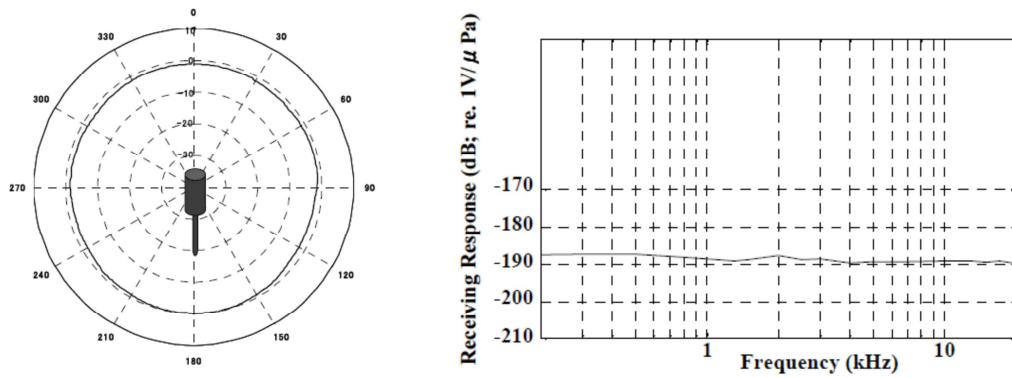


Figure 2-15. Directivity and frequency characteristics of a hydrophone (from System Intec Co. Ltd.)

AUSOMS-D は主に 20 Hz から 20 kHz の周波数帯の音を録音対象としており、様々な自然音および人工音が記録される。本研究における水中音の録音はジュゴン鳴音の検出が主目的であったため、データ取得時に船舶音の影響を低減するべく 1 kHz ハイパスフィルタが適用された。本章では 1 kHz 以下の雑音についても解析対象とするため、1 kHz 以下の音圧レベルを以下の補正式により計算した。

$$corrSPL (dB) = 120 + p - q$$

$corrSPL$ は補正後の音圧レベル、 p は AUSOMS-D に録音された音圧レベル、 q は補正值 (Figure 2-16) である。

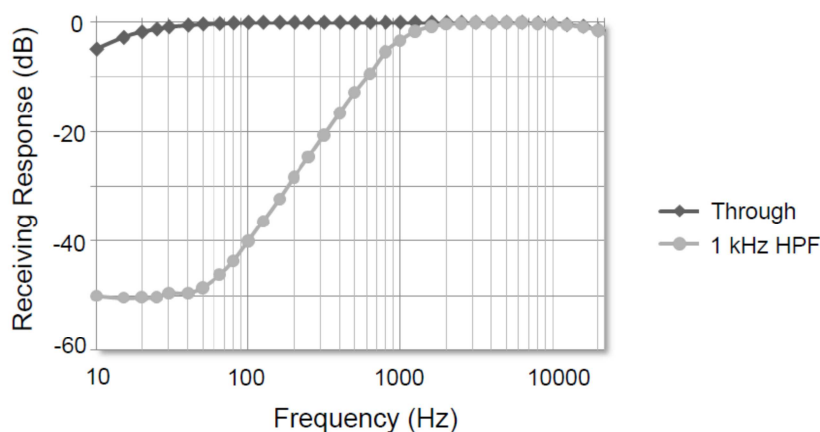


Figure 2-16. Receiving response of sounds with 1 kHz high pass filter

背景雑音レベルは天候によっても影響を受ける。降雨時の背景雑音レベルは、無雨時に比べて 10 kHz の周波数帯で約 20 dB 高くなる (Au and Hastings, 2008)。本データの録音期間にも複数回の降雨があり、降雨時には広い周波数範囲で雑音レベルが高くなった。そのため強雨時のデータは解析から除外した。また背景雑音レベルは海況すなわち風速や波浪にも依存する (Urick, 1967)。本データが録音された 11 月および 1 月は乾季にあたり、天候は比較的穏やかで海が荒れることは少ないため、海況による背景雑音レベルへの影響は少なかったと仮定した。

解析方法

(1) 背景雑音レベル

水中音ファイルから 1 時間毎に 1 分間のデータ (XX 時 00 分～XX 時 01 分) を抽出した。1 分間のデータに船舶音が録音されている場合、時間をずらして船舶音が入っていない区間を選んだ。各周波数帯域における音圧レベルを求め (高

速フーリエ変換 1024 点、帯域幅 43.1 Hz、ハミング窓)、1 分間の平均値を算出して 1 時間ごとの代表値とした。1 日を 0～3 時、3～6 時、6～12 時、12～15 時、15～18 時、18～21 時、21～24 時と 3 時間ごとに区分し、各時間帯における背景雑音レベルの中央値を比較した。録音機器の設置場所は水深 5 m 前後と浅いため、潮汐によって発生する波浪音あるいは他の物理環境要因が背景雑音レベルに影響する可能性がある。そこで 1 時間ごとの背景雑音レベルと相対潮位の関係を調べた。また海中雑音動態の季節変化を検討するため、11 月 (2006 年) および 1 月 (2008 年) における背景雑音スペクトルの日周変動パターンを調べた。

(2) 船舶音

(a) 船舶音の特性

ロングテールボートから発生する船舶音の音響特性を調べた (Figure 2-17)。Sakamoto (2007) によると、同海域を航行するロングテールボートの音響特性は、卓越周波数が 66.99 Hz、卓越周波数における音圧レベルが 130.4 dB、その時の最大エネルギーが 44.63 W/m^2 であるが ($n=9$)、その周波数成分に関しては記載されていない。船舶音の周波数スペクトル解析では、各船舶音の音圧が最大振幅を示す前後 10 秒間のデータを用いた。高速フーリエ変換により周波数 43.1 Hz ごとに音圧レベルを計算した後 (1024 点、ハミング窓)、ハイパスフィルタによって低減している 1 kHz 以下の音圧レベルを補正した。

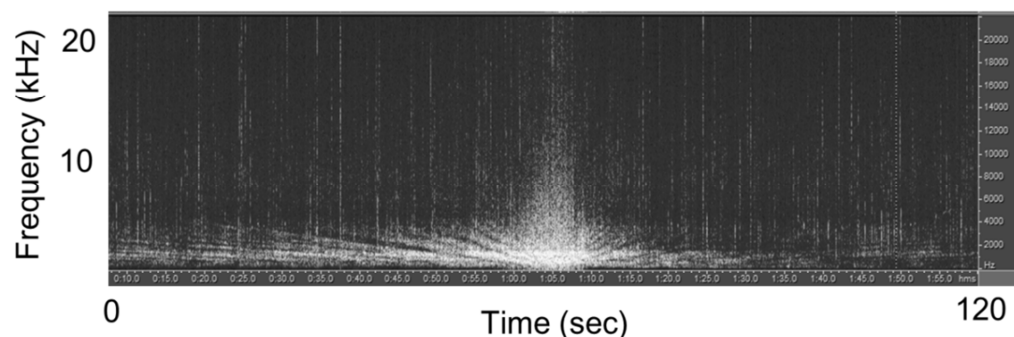


Figure 2-17. An example of spectrogram of long-tailed boat sound in two minutes

(b) 船舶音の自動検出

本研究に用いた水中音データは、定点において長期間連続的に録音されたものであり膨大な情報量を含む。データから効率的に船舶音を検出するため、MATLAB®上で船舶音を自動検出するプログラムを用いて (Sakamoto, 2007)、以下の手順で船舶音検出を行った。

- 1) 水中音データ (.wav) を 10 秒間分読み込む
- 2) 10 ms 毎に高速フーリエ変換を実行する
- 3) 各セクションにおいて最大スペクトルレベルを示す周波数成分が、音圧レベルおよび周波数の閾値を超えるセクションを排除する
- 4) 周波数成分が前後セクションの 20%を超えるセクションを排除する
- 5) 上記 1 から 4 の手順を.wav ファイルの初めから終わりまで繰り返す

AUSOMS-D は 2 つのハイドロフォンを持つステレオ式録音システムであり、音源から各ハイドロフォンへの音の到達時間差から音源の方位を算出することができる (Au and Hastings, 2008)。各ハイドロフォンへの音の到達時間差を求める相互相関関数は以下である。

$$c(j) = \sum_{i=1}^n s1(i)s2(i+j)$$

各ハイドロフォンに到達した音は、それぞれ $s1(i)$ および $s2(i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, n$) で表される。相関関数が最大になる点 j が到達時間差の最適推定値である。音源の方位は三角関数によって求めることができる (Figure 2-18)。本研究でも各ハイドロフォンにおける船舶音の到達時間差より、AUSOMS-D に対する各船舶音の相対進行方位を推定した (Figure 2-19)。そして音源方位における各点の連続性から船舶航行音の開始および終了時刻を定義した。5 秒以上次点が検出されなかった場合、船舶航行音は終了とした。

船舶音を検出する閾値（音圧レベルおよび周波数）は、ロングテールボートの音響特性に基づいて設定した。その際 4 種類の候補閾値を用意し (Table 2-3)、船舶音源方位図においてその航行を最大数視認できた閾値を採用することとした (Figure 2-20)。比較の結果、本研究では閾値 (1) 音圧レベル 90 dB re 1 μ Pa、周波数 0.3 – 8 kHz を船舶音の検出に用いることとした。

先行研究である Sakamoto *et al.* (2006) および Sakamoto (2007) は、同海域において AUSOMS-D を用いた録音システムによる船舶の音響検出率を推定している。目視観察と音響観察によってそれぞれ求めた船舶数を比較した結果、船舶の音響検出率は、半径 500 m 以内で 51.4%、300 m で 78.1%、200 m で 89.5%、100 m で 100%と推定されている (Sakamoto *et al.*, 2006; Sakamoto, 2007)。本研究でも同様の手順で水中音データから船舶音を検出していることから、船舶の音響検出率は同程度と仮定した。

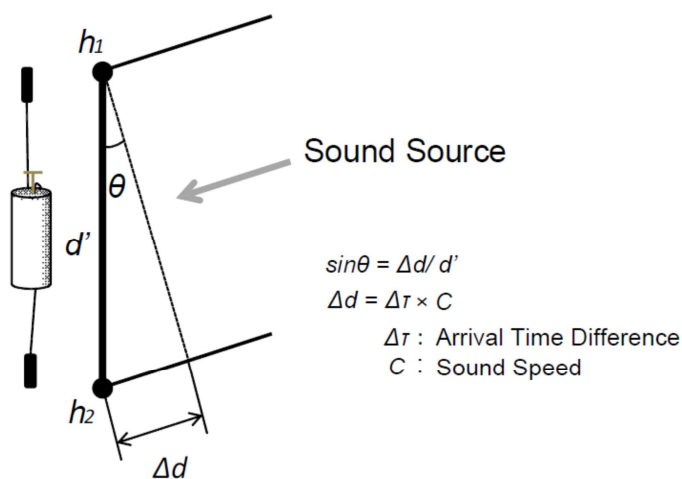


Figure 2-18. Geometry of calculating the direction of sound sources

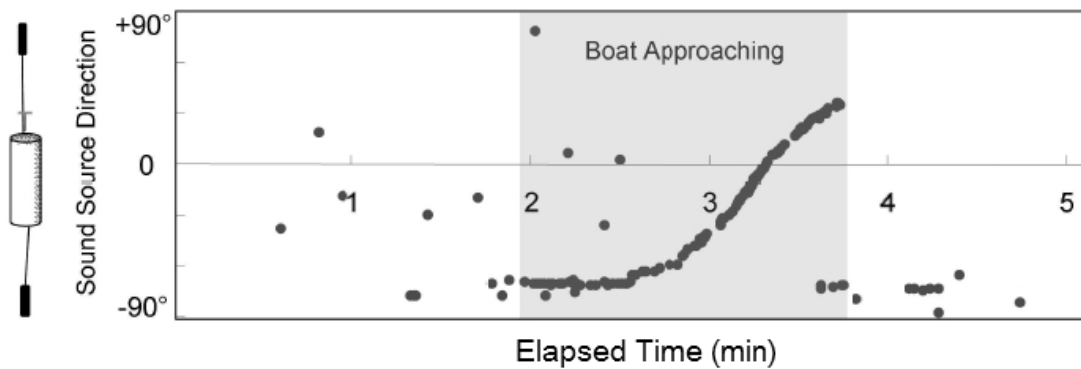


Figure 2-19. Boat traffic (shadow zone) was determined based on the sound arrival time lags between two hydrophones.

Table 2-3. Thresholds of sound pressure level (SPL) and frequency for automatic detection of boat sound

Parameter No.	SPL (dB)	Frequency (kHz)
1	90	0.3 – 8
2	90	1 – 15
3	100	0.3 – 8
4	100	1 – 15

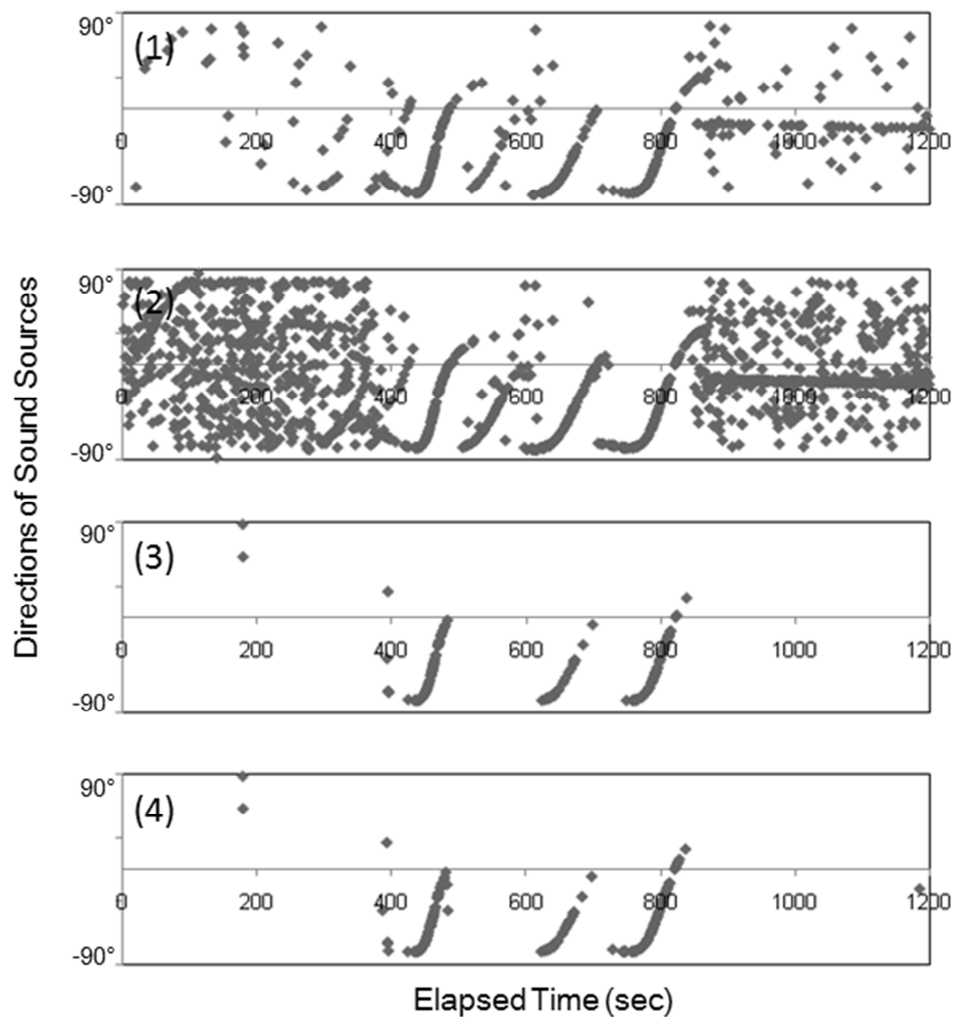


Figure 2-20. Source directions of boat sounds detected with four thresholds in Table 2-3. The numbers of boats detected were five, eight, three, and three in (1), (2), (3), and (4), respectively.

(c) 船舶航行音数の出現パターン

船舶航行音出現パターンの日周変化を調べるため、3 時間ごとの船舶航行音数を比較した。また出現パターンの季節変化を調べるため、11 月、1 月および 3 月における 1 時間ごとの船舶航行音数を比較した。

2-2-3. 結果

2006 年 11 月の水中音データには、様々な自然音および人工音が録音されていた。自然音として、降雨音、テッポウエビのパルス音 (Figure 2-21a)、魚類の発声音 (Figure 2-21b)、小型鯨類のホイッスル (Figure 2-21c) およびクリック音 (Figure 2-21d) が録音されていた。テッポウエビのパルス音はごく短く広範囲の周波数成分を含んでいた。魚類が発したと推測される音がいくつか録音されており、その多くは周波数 5 kHz 以下の音であった。小型鯨類のホイッスルは中周波数帯の鳴音でありジュゴンの鳴音と似ているが、ジュゴン鳴音に比べて周波数変調が大きいため識別可能であった。小型鯨類のクリック音は連続的で短い広周波パルス音であり、容易に識別できた。人工音のほとんどは船舶航行音であった。その他、1 時間以上続く機械音、本データを録音した際に同時に行われた放音実験におけるジュゴン疑似鳴音が録音されていた。

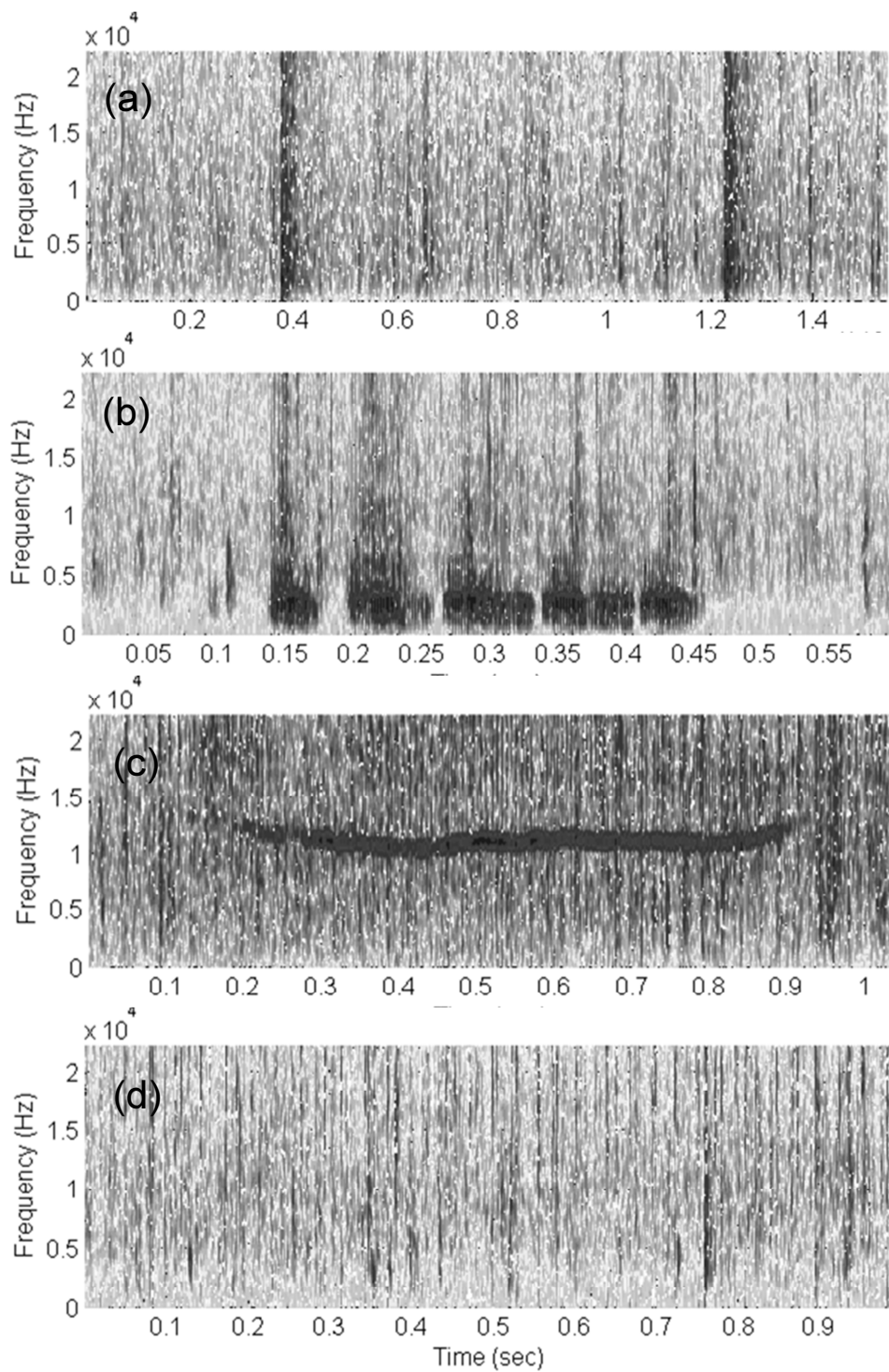


Figure 2-21. Spectrogram of (a) pulse sound of snapping shrimp, (b) sound produced by fish, (c) whistles and (d) clicks of cetacean

2-2-3-1. 背景雑音の音響特性

背景雑音レベルの日周変化

背景雑音レベルは 72.5～77.9 dB であった（平均 75.9 ± 0.72 dB、 $n = 159$ ）。背景雑音レベルの中央値を 3 時間ごとに比較したところ、時間帯によって有意差が認められた（クラスカル・ウォリス検定、 $X^2 = 17.23$ 、 $df = 7$ 、 $p = 0.015$ 、Figure 2-22）。背景雑音レベルは早朝 3～6 時に最も低く、朝から昼にかけて高い傾向がみられた。さらに 3～6 時と 18～21 時の間には有意な差が認められた（スティーラー・ドゥワース法、 $t = -3.13$ 、 $p = 0.037$ ）。また背景雑音スペクトルにおいて、1 日のうち背景雑音レベルが最も低い 3～6 時と最も高い 9～12 時を比較すると、0.3～5 kHz の低～中周波数帯で差が大きく、最も大きな差が見られた 1 kHz 前後の周波数帯においては約 10 dB 異なった（Figure 2-23）。

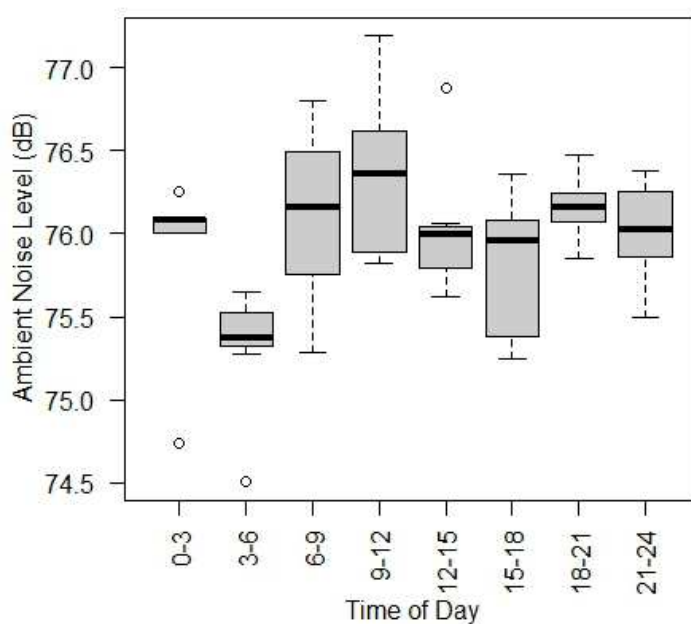


Figure 2-22. Ambient noise levels every three hours

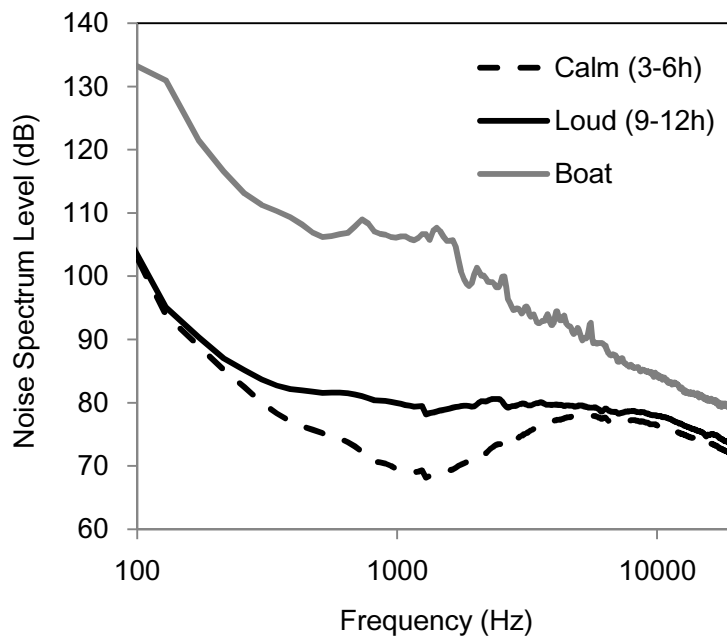


Figure 2-23. Frequency spectra of ambient noise (calm and loud hours) and a boat noise.

背景雑音と潮位

背景雑音レベルと相対潮位の間には有意な弱い正の相関が認められ、相対潮位が高く水深が深いほど背景雑音レベルが高い傾向があった ($r = 0.23$ 、 $p = 0.004$ 、Figure 2-24)。

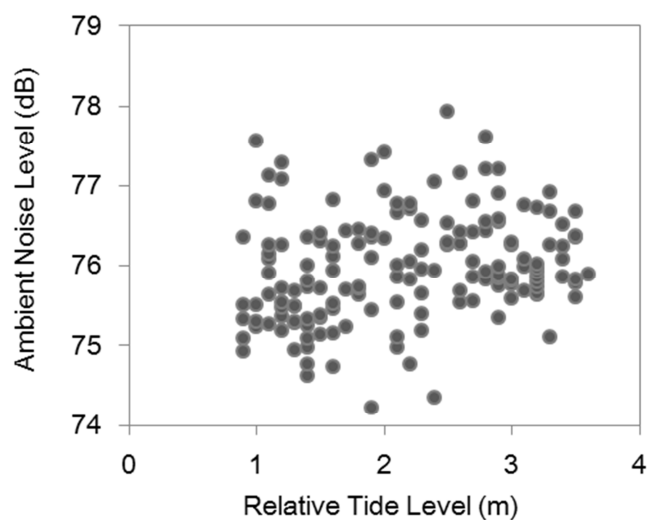


Figure 2-24. Relation between relative tide level and ambient noise level.

背景雑音の季節変化

11 月および 1 月における背景雑音スペクトルの日周変動パターンを比較した (Figure 2-25)。両月ともに背景雑音レベルは夜間、特に 3～6 時に最も低く、日中 9～18 時に高くなるという同様のパターンを示した。

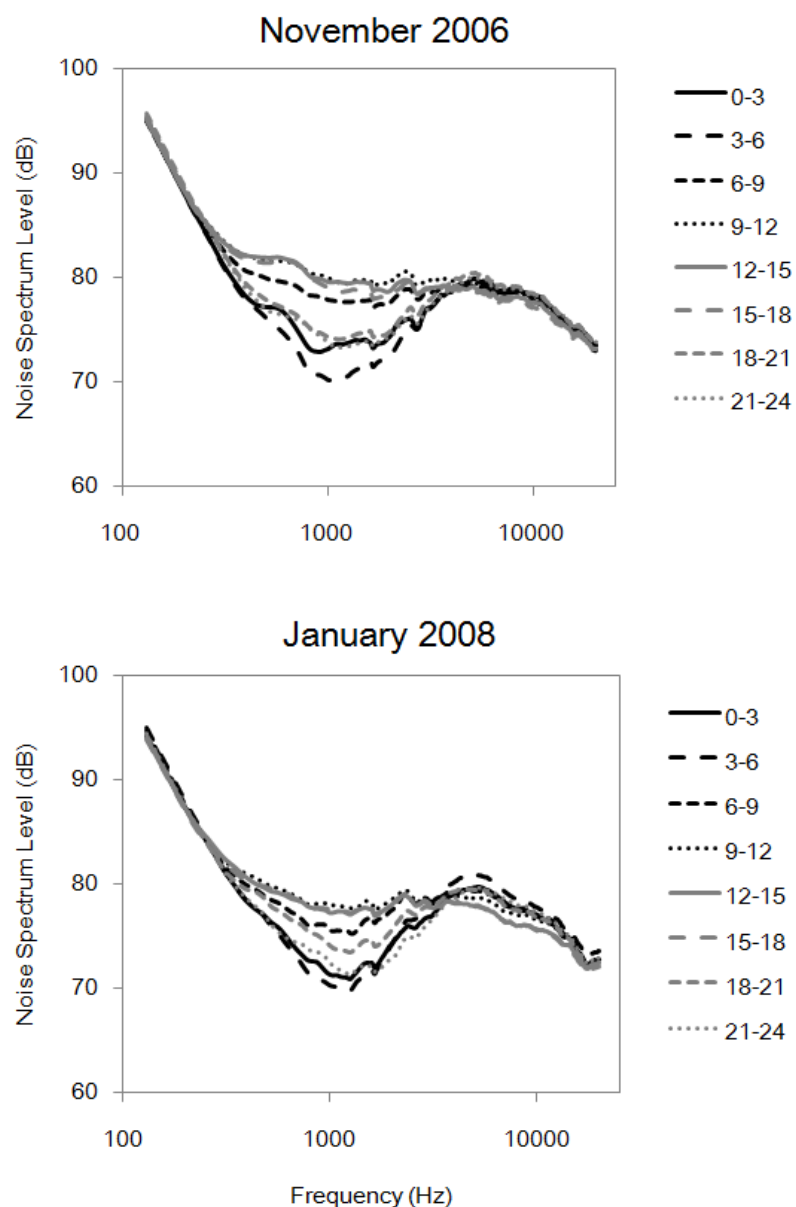


Figure 2-25. Ambient noise spectra every three hours in November 2006 and January 2008

2-2-3-2. 船舶航行音の音響特性

自動検出した船舶音の音源方位から、船舶航行音の数をカウントした。例えば 2006 年 11 月 21 日午前 6 時 00 分から 6 時 30 分の 30 分間の水中音データには、少なくとも 3 隻の船を確認できる (Figure 2-26)。

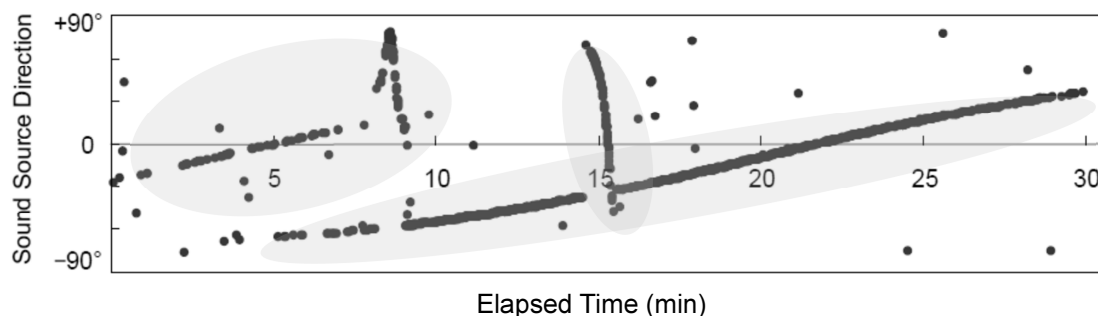


Figure 2-26. Sound source directions of boat traffics. At least three boats, encircled in gray zone, passed during 30 minutes (0600 h – 0630 h on January 21, 2006)

ロングテールボート 4 隻の船舶航行音の平均持続時間は 124.8 ± 36.3 秒 (98 ~ 178 秒)、平均卓越周波数は 936.5 ± 449.7 Hz (344 ~ 1421 Hz) であった (Table 2-4)。船舶航行音 4 隻の各周波数スペクトルおよび船舶航行音が無い時間帯の周波数スペクトル平均値 ($n = 4$) を Figure 2-27 に示した。

Table 2-4. Acoustic characteristics of the four boat noise recordings; the peak frequency was determined as the frequency with the highest received SPL at the time of the closest boat approaching.

Boat ID	Date (mm/dd/yy)	Start time (hhmm)	Duration (sec)	Peak frequency (Hz)
#1701	11/17/06	0536	178	904
#1901	11/19/06	1116	98	344
#2101	11/21/06	1134	117	1077
#2102	11/21/06	1911	106	1421

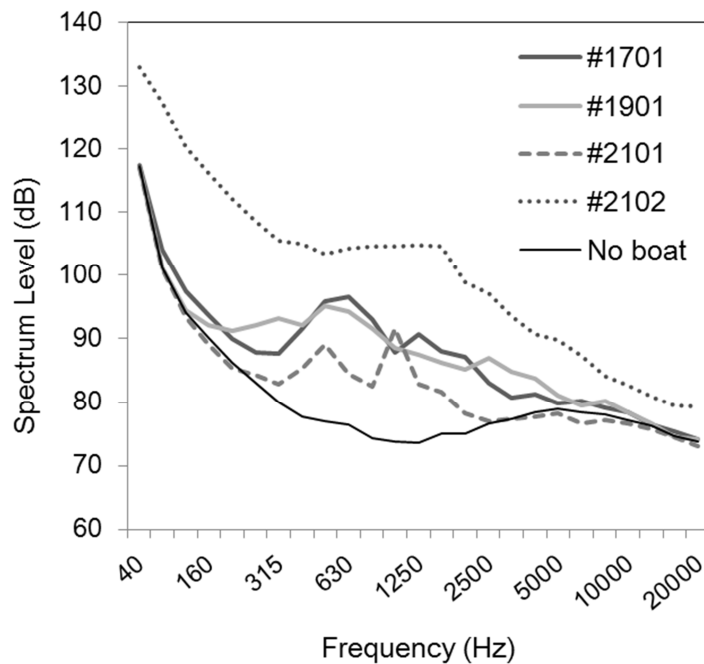


Figure 2-27. Spectra of the four boat noises and averaged spectrum of ambient noise when there was no boat ($n = 4$).

船舶航行音数の日周変化

2006 年 11 月の水中音データ（8 日間 160 時間）から、316 隻の船舶航行音が検出された。検出された船舶航行音の持続時間はその多く（78.8 %）が 5 分未満であったが、なかには数十分以上継続して検出された音が存在した（Figure 2-28）。そこで、持続時間が 5 分未満の短い船舶航行音および 5 分以上の長い船舶航行音に分けて解析した。船舶航行音は日中に多く検出され、特に早朝から昼にかけて多かった（Figure 2-29）。その数は時間帯によって有意な差が認められ（クラスカル・ウォリス検定、 $p < 0.001$ ）、6～9 時は他の時間帯と比べて有意に船舶航行音数が多かった（ $p < 0.05$ ）。短い船舶航行音は 3～15 時まで継続して数が多い一方、長い船舶航行音は 6～9 時に集中していた。

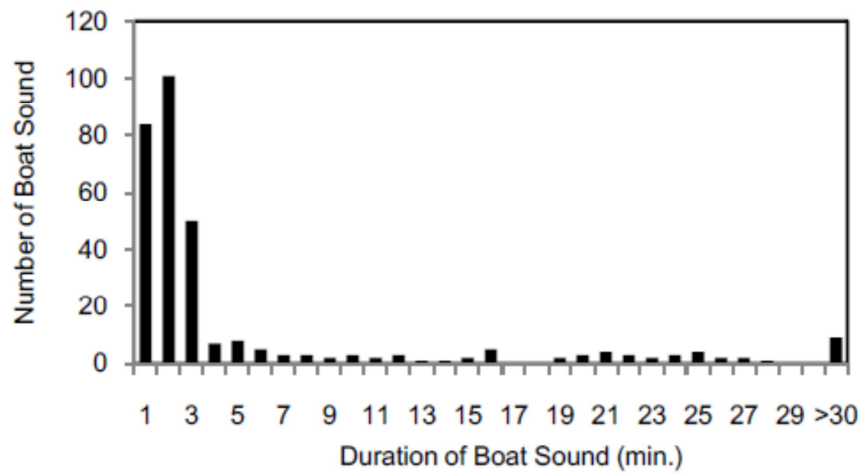


Figure 2-28. Frequency distribution of the duration of boat noises in November 2006 ($n = 316$)

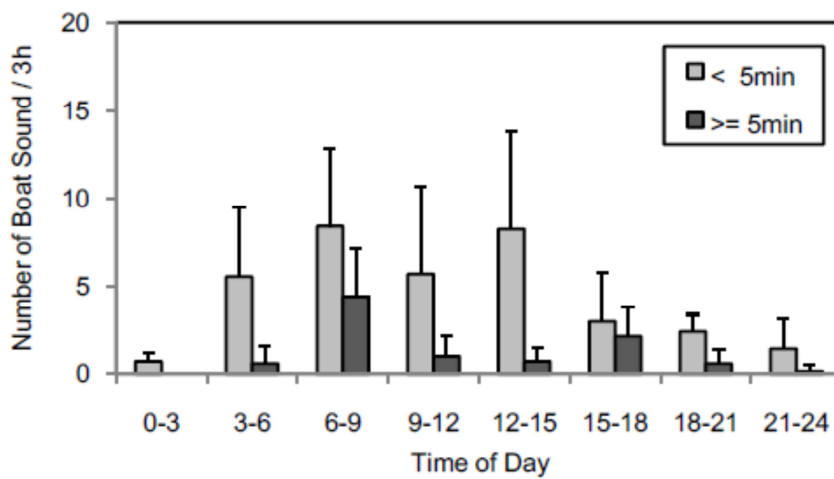


Figure 2-29. Daily occurrence of short (<5 min) and long (>=5 min) boat noises in November 2006. The bars indicate average numbers of boat noises.

船舶航行音出現パターンの季節変化

検出された船舶航行音は 1 月データから 338 隻（8 日間 178 時間）、3 月データから 347 隻（6 日間 117 時間; Sakamoto, 2007）であった。1 日あたりの船舶航行音数は 11 月 47.4 隻、1 月 45.6 隻、および 3 月 71.2 隻であった。船舶航行音の多くは 5 時から 18 時の間に検出された（Figure 2-30）。いずれの月も船舶航行音は朝に最も多く検出された。さらに 11 月および 1 月は正午および夕方に小さなピーク、3 月は夕方に大きなピークがみられた。

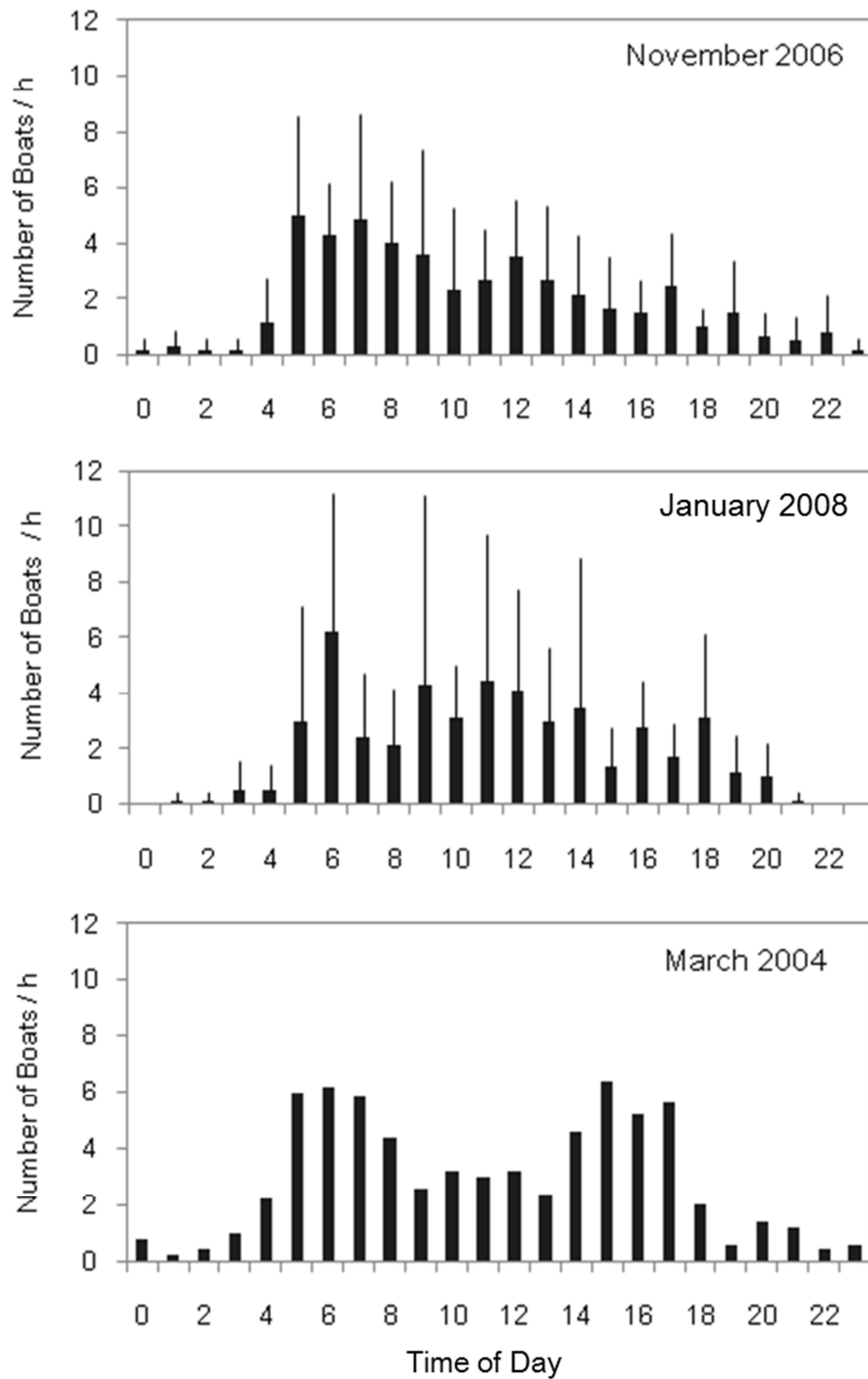


Figure 2-30. Daily occurrence of boat noises in November, January, and March. Numbers of boat noises in March were extracted from Sakamoto (2007).

2-2-4. 考察

水中音データには様々な生物音が録音されており、なかでもテッポウエビのパルス音は常時存在した (Figure 2-21a)。テッポウエビは緯度 35 度未満の熱帯・亜熱帯海域の沿岸海域に広く分布しており、海中雑音の主な自然音源のひとつである。テッポウエビのパルス音はハサミを閉じるときに発生する音であり

(Versluis *et al.*, 2000)、2~5 kHz の間に卓越周波数を持ち、200 kHz までの広い周波数範囲にわたる、ごく短い音である (Au, 1998; Au and Hastings, 2008)。本海域における魚類および小型鯨類の発声音に関する研究は無く、本データ中の発声音から種の識別はできなかった。トラン県沿岸にはハンドウイルカ (*Tursiops aduncus*)、ハシナガイルカ (*Stenella longirostris*)、サラワクイルカ (*Lagenodelphis hosei*)、スナメリ (*Neophocaena phocaenoides*)、およびシナウスイロイルカ (*Sousa chinensis*) が生息している (Adulyanukosol, 1999; Adulyanukosol and Thongsukdee, 2005)。本データに録音されていた小型鯨類のホイッスル (Figure 2-21c) およびクリック音 (Figure 2-21d) は、上記いずれかの種によって発声されたと考えられる。

水中音データから検出した人工音には、5 分未満の短い音および数十分以上続く長い音の 2 種類があった (Figure 2-29)。短い人工音は、明らかに船舶航行音であった。長い人工音のなかには 1 時間近く続いていたものもあり、さらに音源方位の移動がゆるやかだったことから、潜水漁業のコンプレッサー音と考えられる。しかし第 1 節のインタビュー調査において、潜水漁業がそれほど頻繁に行われている様子はなかった。長い人工音の音源としてコンプレッサーのほか、浚渫、工事、遠方の船舶航行音などが考えられるが、現時点では不明であった。

船舶音はエンジン音、プロペラ音、およびプロペラ回転時に発生するキャビテーション雑音を含む (Urick, 1967; Medwin *et al.* 2005)。船舶音の卓越周波数は 100 – 1000 Hz の間にあることが多く、船のサイズが小さいほど高い傾向がある (Richardson *et al.*, 1995)。本海域を航行するロングテールボートは小型であり、

その音の卓越周波数は 936 Hz と比較的高かった。本研究では船舶と録音機器間の距離を計測しておらず、船舶音の音源音圧は推定できなかった。ロングテールボートから発生する音の音源レベル (130.4 dB; Sakamoto, 2007) は一般的な小型船舶音の音源レベル (145~169 dB; Erbe, 2002) に比べて比較的低い。一般に船舶の航行速度が速いほどその音圧が上昇する傾向があるが、ロングテールボートは航行速度が約 8 ノットと遅いため (Sakamoto, 2007)、その音源レベルは比較的低いと考えられる。船舶音は船体に沿って拡散し (Medwin *et al.* 2005)、その放射エネルギーはプロペラの側面で最大となる (Urick, 1967)。そのため船舶音の音響特性は、船体に対する録音角度によっても変わる。本研究では録音された船舶音を発生させた船の船体サイズ、航行速度、および録音時の角度も調べられていない。ロングテールボートの音響特性をより詳細に調べるためには、上記を考慮したうえでコントロール実験を行い、データを取得および解析する必要がある。

対象海域における背景雑音レベルは、夜間に低く日中に高い傾向がみられた (Figure 2-22)。早朝 (3~6 時) に最も低く、朝から昼 (6~12 時) にかけて顕著に上昇しており、特に 1 kHz 前後を中心とする低~中周波数帯で大きな差が見られた (Figure 2-25)。また船舶航行音は夜間に少なく、朝 5 時から 9 時をピークとする日中に多く検出された (Figure 2-30)。ただし早朝 3~6 時においては船舶航行音が多い一方で、背景雑音レベルは一日のなかで最も低かった。その理由として、それぞれの解析対象とした音の周波数帯の違いが考えられる。音は周波数によって伝達範囲が異なり、低い周波数の音ほど遠くまで伝達する。今回、背景雑音レベルとしては 0~22 kHz における平均音圧レベルを計算した。水中音データから船舶音を検出する際には、周波数 0.3~8 kHz を閾値とした。よって背景雑音レベルはより広い周波数帯の音を反映しており、船舶音のモニタリング範囲よりも更に遠くの音源を検出した可能性がある。

夜間 18~21 時に背景雑音レベルが高かった理由として、テッポウエビのパルス音が考えられる。テッポウエビの活動には季節性や日周変化がほとんどないといわれているものの、日の出前および日没後にテッポウエビのパルス音に起

因する雑音レベルが若干上昇することが報告されている (Johnson *et al.*, 1947)。背景雑音スペクトルをみると、夜間は全体的に音圧レベルが低いものの 5 kHz 前後の周波数が高くなっており (Figure 2-25)、テッポウエビのパルス音が影響している可能性が考えられる。潮位が高いほど背景雑音レベルが高い傾向に関して、直接的な要因は不明であった。浅海では潮汐による水深変化など物理環境が変わりやすく音の反射や屈折が複雑なため、音の伝達経路が変化したことが背景雑音レベルに影響したと考えられる。季節変化の検討では、11 月および 1 月において背景雑音スペクトルの日周変動パターンに大きな差はみられなかった (Figure 2-25)。船舶航行数は 11 月および 1 月に比べて 3 月は 1 日あたりの船舶航行音が多く、船舶活動がより活発であると示唆された。11 月および 1 月における背景雑音レベルおよび船舶航行音数の変動パターンはよく似ており、その同期性から対象海域においても船舶音が海中雑音に大きく寄与していることが示唆された。ただし 3 月の背景雑音レベルのデータがないため、船舶航行音数の変動が、どの程度背景雑音レベルの動態に関連しているか不明であった。水中音データに録音された船舶航行音の出現パターンは、インタビュー調査で明らかになった船舶の活動の時系列パターンと一致していた。船舶航行パターンを調べる従来の方法として目視調査やインタビュー調査があるが、これらの調査には人手が必要なこと、長期間や夜間の調査が難しいというデメリットがある。受動的音響観察ではこれらのデメリットをカバーすることができる。本結果は、船舶航行状況の把握に音響データ解析が有効なアプローチ手法のひとつになることを示した。

本節ではロングテールボートに焦点をあてており、その他の船舶（プレジャーボート、フェリー）の音響特性は不明である。今後、地域経済や観光産業の発展により、ロングテールボート以外の船舶航行が増加することが予想される。対象海域における海中雑音特性をより詳細に把握するために、様々な船舶の音響特性についても調べ、また船舶音が海中雑音にどれくらい寄与しているのか明らかにする必要がある。

第3章 ジュゴンの鳴音特性

3-1. 背景

多くの動物は鳴音を発する。鳴音は主に個体間コミュニケーションに使われ、個体識別、縄張りの維持、異性に対する求愛などの社会行動において重要な役割を持つ。鳥類や哺乳類の一部の種では多くの鳴音研究が行われており、鳴音の役割や社会行動との関連性が明らかになっている (Owings and Morton, 2006)。

海産哺乳類の鳴音研究は鯨類で多く行われ、様々な種における鳴音の種類、特性および役割が明らかになってきた。鯨類はヒゲクジラ類とハクジラ類の大きく2種類からなる。ヒゲクジラ類の一種ザトウクジラ (*Megaptera novaeangliae*) はソングと呼ばれる複雑な構造をもつ低周波鳴音を発する (Payne and Mcvay, 1971)。ソングはオスからメスに対する求愛音と考えられており、繁殖戦略において重要な役割をもつ (Au *et al.*, 2000)。ハクジラ類が発する鳴音は、ホイッスルおよびクリックスがよく知られる。ハンドウイルカ (*Tursiops truncatus*) のホイッスルはその周波数に複雑な抑揚をもち、会話音として知られる。ホイッスルの一つであるシグネチャーホイッスルは個体特有の周波数変調をもっており、グループ内での個体識別に使われる (King and Janik, 2013)。クリックスはエコロケーション (反響定位) 音として知られ、餌生物の探索に使われる。

海牛類の鳴音研究は、鯨類にくらべて数少ない。マナティの鳴音は数タイプが知られる (chirps、squeaks、grants [Hartman, 1979] ; tonal harmonic calls、broader-band less tonal calls [Nowacek *et al.*, 2003] ; chirps、squeaks [Miksis-Olds and Tyack, 2009])。これら鳴音は母仔間でよく使われており、個体識別や群れの維持に利用される (Sousa-Lima *et al.*, 2002; O'Shea and Poché Jr. 2006)。ジュゴンもマナティと似た鳴音を発し、鳴音を個体間コミュニケーションに利用している。ジュゴン鳴音は、チャープ・スクイークス (チャープ)、トリル、およびバークスの主に3タイプがある (Nair and Lal Mohan, 1975; Nair *et al.*, 1975; Marsh *et al.*, 1978; Anderson and Barclay, 1995; Ichikawa *et al.*, 2003; Hishimoto *et al.*, 2005;

Okumura *et al.*, 2005; 2006; Hishimoto, 2007; Ichikawa, 2007; Okumura, 2007; Damiani, 2011; Parsons *et al.*, 2013, Table 3-1)。自然環境下でジュゴンが発声する鳴音の多くはチャープ・スクイクス（チャープ）である。Anderson and Barclay (1995) はオーストラリア・シャーク湾において野生ジュゴンの鳴音を録音し、同時に発声個体の行動を観察した。彼らはジュゴンが発する鳴音について、チャープ・スクイクスは縄張りの主張、トリルは攻撃する意志がないことを示す親和的機能、バークスは攻撃を受けたときの警告音としての機能を持つと推察した。Ichikawa *et al.* (2011) はタイ国タリボン島沿岸においてチャープ疑似鳴音によるプレイバック実験を行い、ジュゴンのチャープの交換に個体間の距離を把握する機能があることを示唆した。ただしその他ジュゴン鳴音の機能・役割については未だ不明な点が多い。

動物の鳴音特性は、発声個体の行動や周囲の環境に応じて変化する。飼育ジュゴンの場合、個体の行動が活発なときや他個体との接触時に発声が多い (Hishimoto *et al.*, 2005; Hishimoto, 2007)。オーストラリアの野生個体群では、群れサイズが大きいほど発声頻度が高く鳴音の卓越周波数が高い傾向があり、発声行動における他個体の存在の影響が示唆される (Damiani, 2011)。タイの野生個体群の発声行動には概日・概潮汐リズムがみられ、夜間および小潮時にジュゴンの鳴音検出率が高い (Ichikawa *et al.* 2006; Ichikawa, 2007; Matsuo, 2014)。鳴音数にみられる潮汐リズムに関しては、鳴音数の増減が滞在個体数を反映していることが示唆されている (Ichikawa *et al.*, 2006; Ichikawa, 2007)。タリボン島東部沿岸の海草藻場にジュゴンが摂餌来遊する条件のひとつに水深があげられることから (Amamoto, 2009; Amamoto *et al.*, 2009)、海草藻場の外縁である本録音地点においても、ジュゴンの来遊に潮位すなわち水深が影響している可能性が高い。

本研究の対象海域では、ジュゴン鳴音が日中よりも夜間、特に明け方に多く録音されている (Ichikawa *et al.* 2006)。しかし、その他鳴音特性の時系列変化については不明である。動物の音響コミュニケーションにおいて発声と行動は深く関連することから、発声頻度と同様に、鳴音の持続時間、周波数、音圧レベ

ルといった特性の変化は、個体の行動変化を表す重要な要素である。目視観察が難しい野生ジュゴンにおいて、これら鳴音特性の時系列変化を明らかにすることは、物理環境の変化やそれに伴う個体の移動パターン、個体の活動度との関連性を推察する上で重要である。

第3章では、ジュゴン鳴音特性およびその時系列変化を明らかにすることを目的とした。発声頻度、鳴音の持続時間、周波数および音圧レベルについて、それぞれの日周変化を調べた。対象海域ではジュゴンは通年生息しているものの、その行動・分布の季節変化は不明である。個体の行動・分布に季節差があるとすれば、個体の発声行動に反映される可能性が高い。そこでジュゴン発声頻度について異なる月間で比較し、発声行動および行動・分布の季節変化について検討した。またジュゴン来遊と潮汐の関連性を明らかにするため、鳴音数と潮位の関係を調べた。

Table 3-1. Summary of studies on the acoustic characteristics of dugongs calls

Authors	Location	Sex	Age	Recording duration	Call types	No. calls	Duration (ms)	Frequency	Source level (dB)
Nair and Lal Mohan (1975); Nair <i>et al.</i> (1975)					Chirp-squeaks			5 – 8 kHz	
Marsh <i>et al.</i> (1978)	Australia	Female	Young		Sound1 Sound2 Sound3 (1 + 2)			1 – 2 kHz 2 – 4 kHz 1 – 2 kHz	
Anderson & Barclay (1995)	Shark Bay, Australia	Unknown	Unknown	323 min. in total	Chirp-squeaks Trills Barks	188	60 ± 5 2200 30 – 120	3 – 18 kHz 3 – 18 kHz 500 – 2200 Hz	
Ichikawa <i>et al.</i> (2003); Ichikawa (2007)	Trang, Thailand	Unknown	Unknown	164 h	Short calls (100–500 ms) Long calls (1000 ms–)	704 74	126 ± 87 1737 ± 1049	4521 ± 1615 Hz 4152 ± 1111 Hz	141.6 ± 4.6
Hishimoto <i>et al.</i> (2005); Hishimoto (2007)	Toba Aquarium, Japan	Male Male Male Male Female Female Unknown	24 25 26 27 17 18	31 h 31 h 31 h 9 h 31 h 9 h 6 h	Unknown Unknown Unknown Unknown Unknown Unknown Unknown	426 188 146 189 72 51 223	792 ± 1111 572 ± 789 878 ± 1072 809 ± 1115 635 ± 882 1081 ± 1374 768 ± 1147	3486 ± 1054 Hz 3682 ± 1217 Hz 2581 ± 1327 Hz 2958 ± 1565 Hz 2815 ± 638 Hz 2952 ± 733 Hz 3199 ± 832 Hz	128.9 ± 12.1 128.7 ± 7.8

Table 3-1. Continued

Authors	Location		Sex	Age	Recording duration	Call types	No. calls	Duration (ms)	Frequency	Source level (dB)
Okumura <i>et al.</i> (2006) Okumura (2007)	Trang, Thailand	Wild			110 h	Chirps	1887		4180 ± 1631 Hz	
	Toba Aquarium, Japan	Captive (n = 2)	Male	25+		Chirps	381		2539 ± 1218 Hz	
			Female	19+		Chirps	46		2811 ± 635 Hz	
	Underwater World Singapore	Captive (n = 1)	Female	8+		Chirps	171		7362 ± 1746 Hz	
Damiani (2011)	Moreton Bay, Hervey Bay, Australia	Wild				Chirps Trills Croaks	317 43 3	83.7 ± 28 1279 ± 127 363 ± 72	6060 ± 144 Hz 3593 ± 288 Hz 1364 ± 152 Hz	
Parsons <i>et al.</i> (2013)	Shark Bay, Australia	Wild (n = 3)	Males			Chirps1	19	100 ± 90		139 ± 6.8
						Chirps 2	12	110 ± 40		135 ± 3.5
						Barks	2	180 ± 50		143 ± 20.8
						Squeak	1	580		158
						Quarks	9	60 ± 60		135 ± 5.4

3-2. 方法

データ

2006 年 11 月 16 日 10 時から 23 日 9 時（以後、11 月データ）および 2008 年 1 月 11 日 10 時から 21 日 5 時（以後、1 月データ）に、タイ国トラン県タリボン島南東沿岸で録音された水中音データを用いた（詳細は第 2 章第 2 節）。鳴音数の月間比較には、上記データに加えて 2004 年 2 月 24 日 10 時から 3 月 4 日 6 時に同地点で録音された鳴音データも用いた（以後、3 月データ）。音響解析ソフト Cool Edit Pro 2.0 を用いて、水中音データの聞き取りおよびスペクトログラムを視認することで鳴音を検出した（Figure 3-1）。検出した鳴音について、時刻、持続時間、卓越周波数（音圧レベルが最も高い周波数）および音圧レベルを記録した。

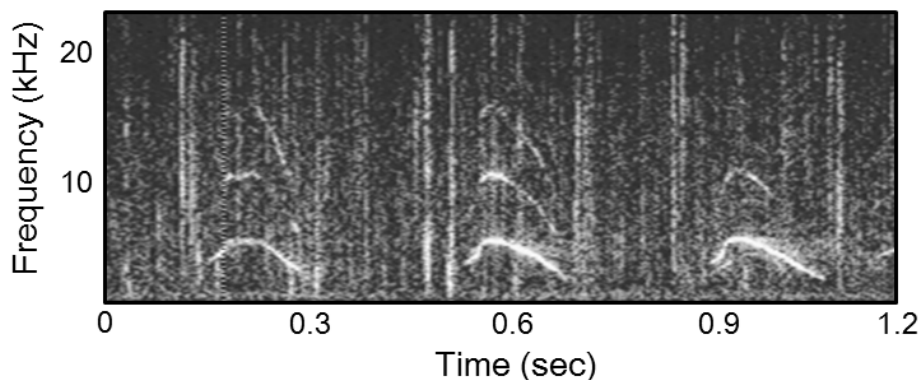


Figure 3-1. Sound spectrogram of three dugong chirp calls

解析方法

2006 年 11 月データにおけるジュゴン鳴音の基本的音響特性（鳴音数、持続時間、卓越周波数および音圧レベル）を調べた。鳴音特性の日周変化を調べるため、3 時間ごとの値を比較した。鳴音数についてはその確率分布を適合度検定によって、持続時間および音圧レベルについてはその平均を分散分析によって、

卓越周波数については後述する便宜的に区分した3つの周波数帯（3～6 kHz、6～9 kHz、9～12 kHz）の鳴音の割合をカイ二乗検定によって調べた。

発声頻度の季節変化を検討するため、11月、1月および3月における1日あたりの鳴音数、および日中（6～18時）と夜間（18～翌6時）における1時間あたりの鳴音数を調べた。また相対潮位データ（2006年11月）および潮位データ（2008年1月）を用いて、潮位と鳴音数の関係を調べた。2006年11月の相対潮位データは干潮時の最低水深を基準として1時間ごとの水深変化を予測した値であり、タイ海軍が公表している年間潮汐表から引用した。2008年1月の潮位データは、録音機器設置場所の海底に深度ロガー（DST-milli-TD、Star-Oddi社）を設置し、ロガーに記録された深度を用いた。ジュゴンは上げ潮時に沿岸へ、下げ潮に沖へ移動する（Anderson and Birtles, 1978; Sheppard *et al.*, 2009）。そこでまず上げ潮時および下げ潮時における発声頻度の差を検討するため、（相対）潮位データに基づいて上げ潮と下げ潮の時間に区分し、各時間における1時間あたり鳴音数を比較した。ジュゴン鳴音は大潮よりも干満差の小さい小潮の時期に多く検出される（Ichikawa *et al.*, 2006）。鳴音数と干満差の関係を検討するため、潮汐1周期ごとの最大干満差と1時間あたり鳴音数の関係を調べた。潮位が上昇から下降に変わる時間を周期の境とし、1周期の最高潮位と最低潮位の差を最大干満差とした（Figure 3-2）。

なお基本的音響特性の解析には、2006年11月データの中から信号対雑音比が高く、確実にジュゴン鳴音と認識できる音圧レベル85 dB以上の鳴音を用いた。2004年3月および2008年1月データの鳴音データは、音圧レベル90 dB以上の鳴音に限られた。発声頻度の月間比較および潮位と鳴音数の関係の解析では、複数月のデータを扱うため、全ての月で音圧レベル90 dB以上の鳴音を用いた。

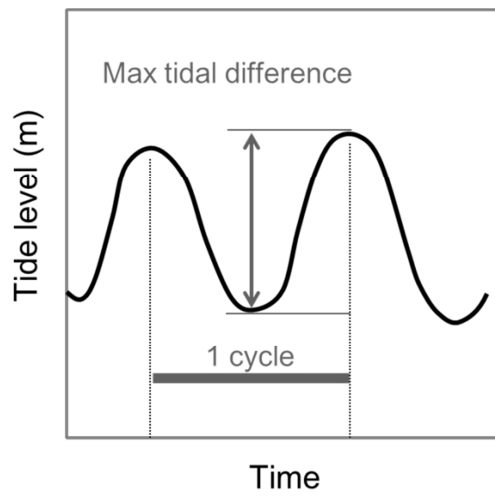


Figure 3-2. Definitions of maximum tidal differences in a tidal cycle

3-3. 結果

3-3-1. 基本的音響特性

2006 年 11 月（8 日間 160 時間）のデータから 13,939 鳴音が検出された。そのうち音圧レベル 85 dB 以上の鳴音は 8,431 鳴音であった。本研究では、横軸に持続時間、縦軸に卓越周波数をプロットした鳴音プロット図（Figure 3-3）および先行研究（Okumura *et al.*, 2005; 2006; Okumura, 2007）に従い、鳴音タイプを定義した。持続時間 300 ms 未満の短い鳴音をチャープ、持続時間 1000 ms 以上の鳴音をトリル、持続時間 300 ms 以上 1000 ms 未満の鳴音は、その周波数およびコンターの形状からチャープおよびトリルのどちらに属するかを判断することが難しかったため、その他とした。

各鳴音タイプの卓越周波数は、チャープが 5.5 ± 2.1 kHz（平均値 \pm 標準偏差）、トリルが 4.8 ± 1.5 kHz であった。持続時間は、チャープが 94.1 ± 30.0 ms、トリルが 2133.9 ± 908.0 ms であった。音圧レベルは、チャープが 88.1 ± 2.9 dB、トリルが 88.1 ± 2.6 dB であった。全鳴音のうち、チャープは 97.2%（8,193 鳴音）、トリルは 1.4%（118 鳴音）、その他鳴音は 1.4%（120 鳴音）であった。以後の解析では主な鳴音であるチャープのみを対象とした。

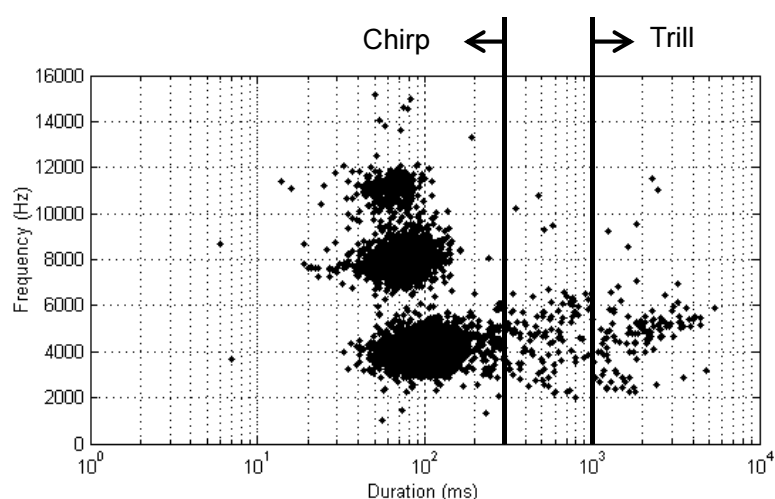


Figure 3-3. Duration vs. frequency of dugong calls

ジュゴンのチャープは基本周波数（基音）のみの純音が最も多いが、複数の倍音をもつ鳴音も存在する（Figure 3-1）。そのため、その卓越周波数の分布は 4 kHz、8 kHz、11 kHz 周辺に分散していた（Figure 3-4）。そこで卓越周波数の分布に基づいて、周波数を便宜的に 3 kHz 未満、3～6 kHz、6～9 kHz、9～12 kHz および 12 kHz 以上と区分し、それぞれにおける持続時間、周波数、および音圧レベルの平均値を求めた（Table 3-2）。3～6 kHz を卓越周波数にもつ鳴音が、全体の 64.3%（5,269 鳴音）と最も多かった。持続時間は周波数が高いほど短い傾向があり、音圧レベルは 3～6 kHz および 6～9 kHz で 88.2 dB と最も高かった。

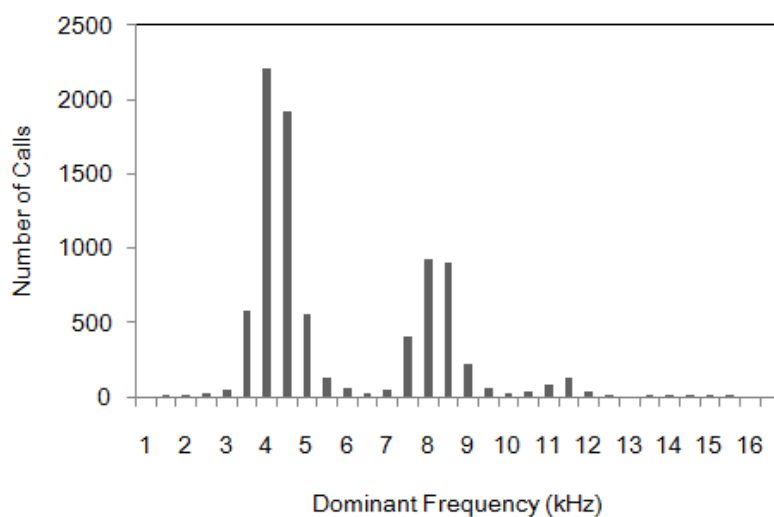


Figure 3-4 . Frequency distribution of dominant frequency of chirps

Table 3-2. Acoustical characteristics at each frequency range of chirps.

	<i>n</i>	Duration (ms)	Frequency (kHz)	SPL (dB)
<3 kHz	41	114.1	2.6	85.9
3 - 6 kHz	5269	104.1	4.0	88.2
6 - 9 kHz	2505	76.8	7.9	88.2
9 - 12 kHz	364	67.4	10.7	87.2
>12 kHz	14	74.3	13.4	86.8

3-3-2. 鳴音特性の日周変化

3 時間ごとの鳴音数を比較したところ、鳴音数は日中に少なく夜間に多い傾向があったものの、時間帯による有意な差は認められなかった ($\chi^2 = 11.92$, $df = 7$, $p = 0.102$; Figure 3-5)。3 時間ごとの鳴音の持続時間および音圧レベルを比較したところ、ともに有意な差は認められなかった (持続時間 $F(7,88) = 0.244$, $p = 0.973$; 音圧レベル $F(7,93) = 0.608$, $p = 0.748$)。3 時間ごとの鳴音の卓越周波数の割合を比較したところ、時間帯によって有意な差が認められた ($\chi^2 = 275.85$, $df = 28$, $p < 0.001$; Figure 3-6)。更に残差分析を行った結果、6～9 時には卓越周波数 3～6 kHz の鳴音割合が有意に低く、一方で 6～9 kHz および 9～12 kHz の鳴音割合が高かった (Table 3-3)。18～21 時においても、卓越周波数 3～6 kHz の鳴音割合が有意に低く、6～9 kHz の鳴音割合が高かった。

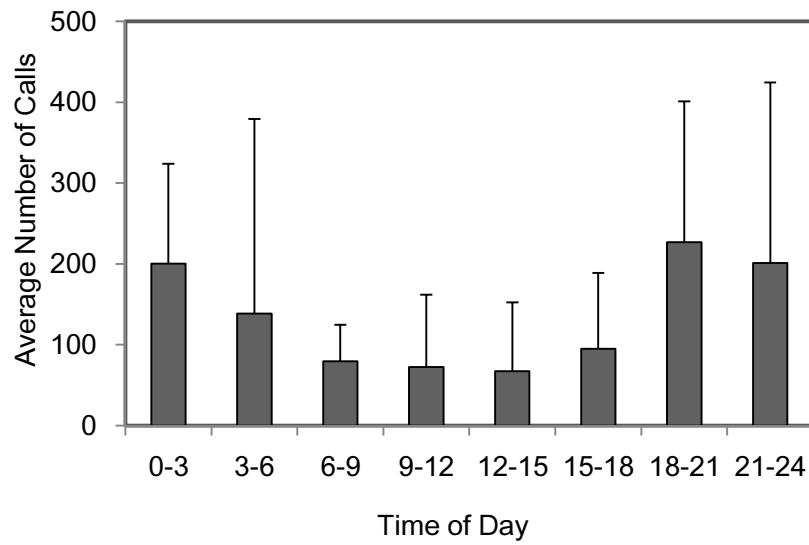


Figure 3-5. Number of dugong calls every three hours ($n = 8193$)

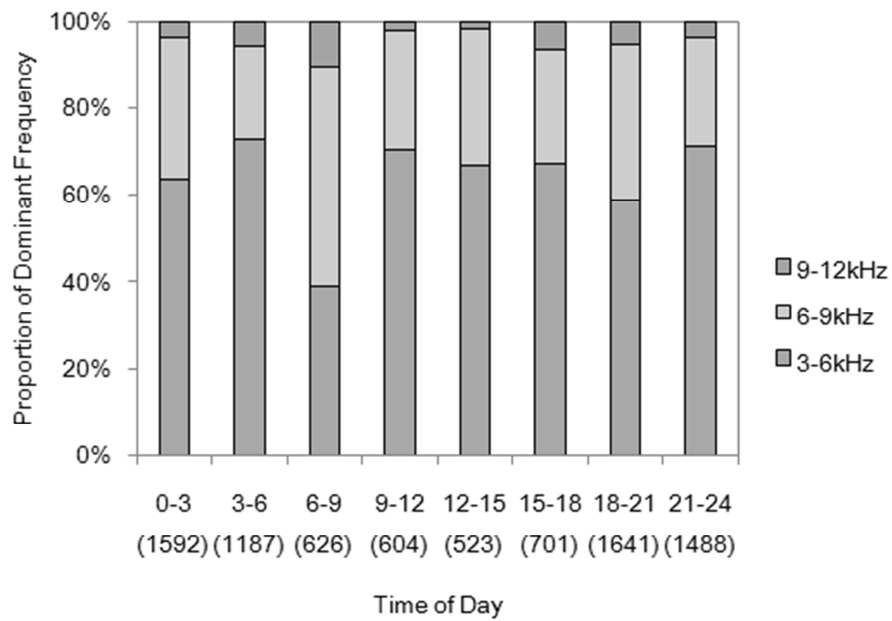


Figure 3-6. Proportion of dominant frequencies of calls every three hours ($n = 8193$). Each sample sizes are in parentheses.

Table 3-3. Residual analysis for the proportion of dominant frequencies of calls every three hours.

Hours	3-6 kHz		6-9 kHz		9-12 kHz	
0-3	-0.76		2.20*	↑	-2.54*	↓
3-6	6.38***	↑	-7.5***	↓	1.56	
6-9	-13.86***	↓	11.25***	↑	6.75***	↑
9-12	2.69**	↑	-1.93		-3.43***	↓
12-15	1.2		0.2		-3.21**	↓
15-18	1.68		-2.66**	↓	2.27*	↑
18-21	-5.10***	↓	4.96***	↑	1.17	
21-24	5.98***	↑	-5.20***	↓	-1.95	

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ↑ significantly increase, ↓ significantly decrease

3-3-3. 鳴音数の季節変化

11月、1月および3月における1日あたりの鳴音数は、11月が 242.0 ± 97.9 鳴音（平均±標準偏差）、1月が 311.7 ± 169.2 鳴音、3月が 663.0 ± 319.7 鳴音であった。日中（6～18時）および夜間（18～翌6時）における1時間あたりの鳴音数を月間で比較したところ、夜間において有意差が認められた（クラスカル・ウォリス検定、日中 $p = 0.069$ 、夜間 $p < 0.05$ 、Figure 3-7）。夜間は11月と3月および1月と3月の間で有意差が認められ、3月是他月に比べて鳴音数が多かった（スティール・ドゥワス法、11月×1月 $t = -1.54$ 、 $p > 0.05$ 、11月×3月 $t = -4.07$ 、 $p < 0.05$ 、1月×3月 $t = -3.08$ 、 $p < 0.05$ ）。

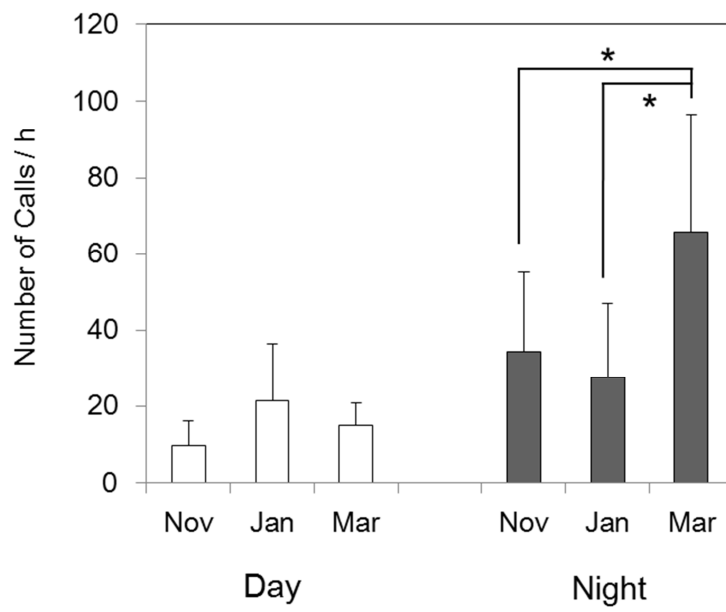


Figure 3-7. Average numbers of dugong calls per hour at day and night in November, January and March. * $p < 0.05$

3-3-4. 鳴音数と潮位

2006 年 11 月の解析対象期間（11 月 16～23 日）において 11 月 21 日前後は大潮にあたり、期間後半ほど干満の差が大きかった（Figure 3-8）。2008 年 1 月の解析対象期間（1 月 11～21 日）では 1 月 18 日前後が小潮にあたり、期間後半で干満差が小さかった。両期間とも、上げ潮時および下げ潮時における 1 時間あたり鳴音数の間に有意な差は認められなかった（マン・ホイットニーU 検定、2006 年 11 月 上げ潮 $n = 68$ 、下げ潮 $n = 92$ 、 $Z = 1.698$ 、 $p = 0.089$ ；2008 年 1 月 上げ潮 $n = 93$ 、下げ潮 $n = 87$ 、 $Z = 1.335$ 、 $p = 0.118$ ）。1 周期ごとの最大干満差と 1 時間あたり鳴音数における相関を調べたところ、最大干満差が大きいほど鳴音数が少ない傾向がみられ（Figure 3-9）、2006 年 11 月および 2008 年 1 月ともに有意な負の相関が認められた（2006 年 11 月 $R = -0.66$ 、 $n = 13$ 、 $p = 0.013$ ；2008 年 1 月 $R = -0.78$ 、 $n = 14$ 、 $p = 0.001$ ）。また鳴音数と最大干満差の関係について、鳴音数を目的変数、最大干満差を説明変数とした単回帰分析を行い、回帰直線を求めた（2006 年 11 月 $F(1,11) = 8.66$ 、 $p = 0.013$ ；2008 年 1 月 $F(1,12) = 18.70$ 、 $p = 0.001$ 、Figure 3-9）。

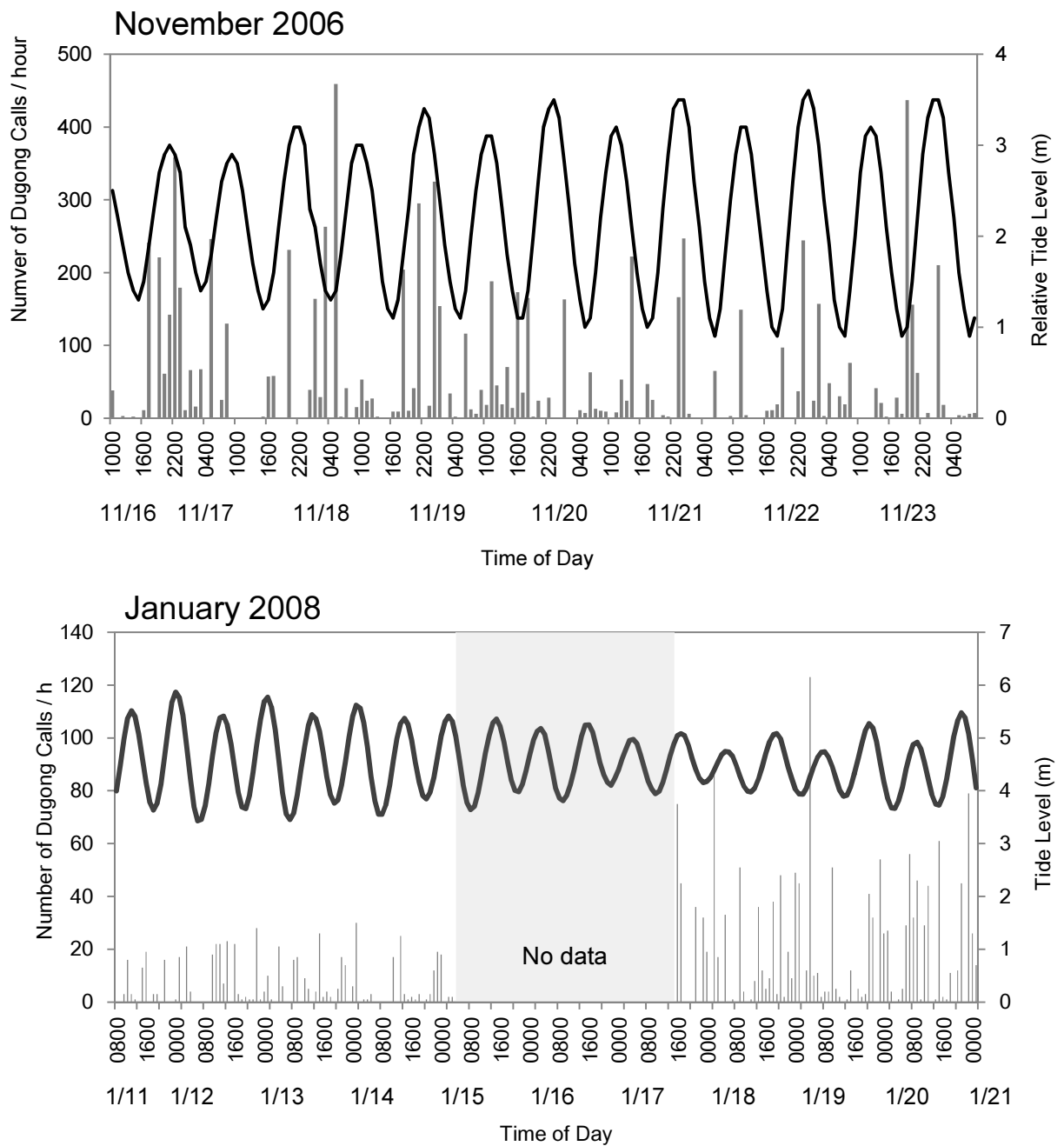


Figure 3-8. Number of dugong vocalizations (bars) and tide levels (curves) during the recording period in November 2006 and January 2008. Gray zone indicates that there was no data during the period.

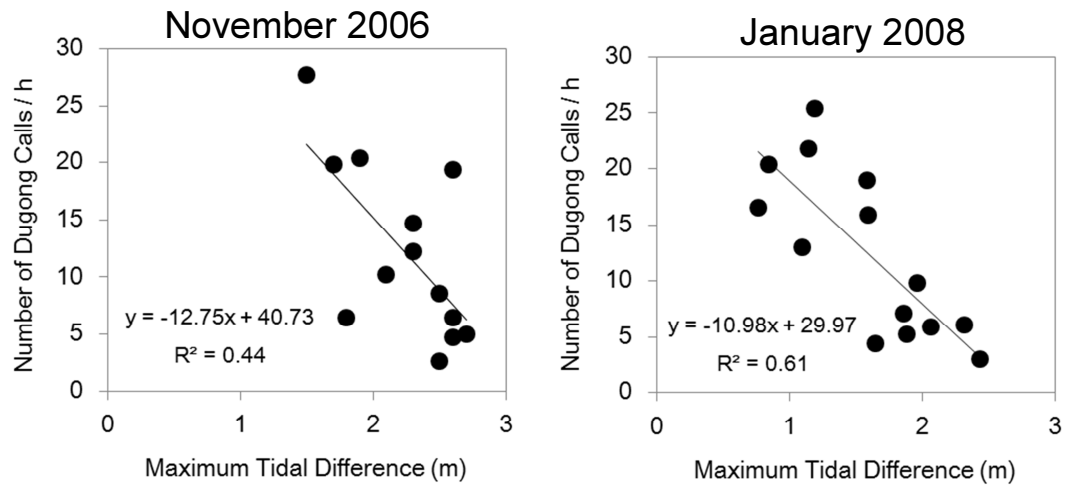


Figure 3-9. Relations between the average numbers of dugong calls per hour and the maximum tidal difference within a tidal cycle in November 2006 and January 2008.

3-4. 考察

ジュゴン鳴音の持続時間および周波数は、既存研究で報告された野生個体の鳴音特性（Anderson and Barclay, 1995; Ichikawa *et al.*, 2003; Okumura *et al.*, 2006; Ichikawa, 2007; Okumura, 2007; Damiani, 2011; Parsons *et al.*, 2013, Table 3-1）と大きな差異はなかった。ただし本研究と同海域で録音された Ichikawa *et al.* (2003) の short call（チャープに相当）に比べて、本結果におけるチャープの卓越周波数は高く持続時間が短かった。チャープとして定義した鳴音の持続時間が、本研究では 300 ms 未満、Ichikawa *et al.* (2003) では 500ms 未満と異なる。そのため上記の音響特性に差が表れたと考えられ、これらを比較する際には注意が必要である。

ジュゴンのチャープは、4 kHz 前後の基音を卓越周波数とする鳴音が、全体の 64%と最も多かった (Figure 3-4, Table 3-2)。ジュゴンと同じ海牛類に属するマナティの鳴音は、ジュゴン鳴音よりも倍音が多く、卓越周波数は基音よりも第 2、第 3 倍音に現れる (Nowacek *et al.*, 2003; Miksis-Olds, 2006)。鳴音の卓越周波数は相手個体に最も強く伝わる周波数成分であり、個体識別において重要なパラメータのひとつである（例えば Rendall *et al.*, 1998）。マナティ鳴音の周波数幅は広く多数の倍音を含むことで、音の減衰の影響を軽減し、鳴音をより確実に他個体に伝達する (O'Shea and Poché, Jr., 2006)。ジュゴンは沿岸浅海域、マナティは主に河口や湖といった淡水域に生息している。浅海は潮汐など物理環境の変化が大きく、音の伝搬が複雑で不安定である。よって両種の鳴音特性の違いの要因の一つとして、生息環境特性が考えられる。鳴音の倍音構造は年齢や体サイズのほか、個体の活動度とも関連する (Sanvit *et al.*, 2007)。また音は音源からの距離が離れるにつれて高い周波数成分が減衰するため、倍音成分が失われる (Rasmussen *et al.*, 2006)。高い周波数の音は指向性が強く、録音機器に対する個体の向きや移動方向が周波数成分の現れ方に影響する (Miller *et al.*, 2002)。上記の個体の属性や発声時の条件を考慮するためには、飼育個体あるいは発声個体を特定したうえで、録音と同時に対象個体の行動を観察する必要がある。

ジュゴン鳴音数は Ichikawa *et al.* (2006) の報告と同様に、日中よりも夜間に多い傾向があった (Figure 3-5; 3-7)。日中に鳴音数が少ない理由として、ジュゴンが音響モニタリング範囲内にいなかった、あるいは発声しなかったという 2 つの可能性が考えられる。前者の場合、録音される鳴音数は音響モニタリング範囲内に存在するジュゴン個体数に依存する。本研究における録音機器の設置場所は、タリボン島南東沿岸の砂地である (Figure 2-13)。タリボン島南部沿岸は深場、東部沿岸には大規模な海草藻場が広がっており (Figure 1-4)、ジュゴンは同海草藻場へ夜間に来遊して摂餌する (Tsutsumi *et al.*, 2005; Tsutsumi, 2006)。オーストラリアで観察される野生ジュゴンは、日中に沖で過ごし夜間は沿岸に来遊する傾向がある (Anderson and Birtles, 1978)。タリボン島周辺の他地点にもジュゴンは分布しているにもかかわらず、鳴音が検出されるのは本録音地点に限られる (Ichikawa *et al.*, 2009; 2012)。よってタリボン島東部沿岸の海草藻場の南端に位置する録音地点は、ジュゴンが深場と海草藻場を行き来する際の移動経路、あるいは夜間に沿岸へ来遊して海草藻場で摂餌する前後に音響コミュニケーションを含む社会行動を行う場所と考えられる。また日中に鳴音数が少なかった理由として、人間活動の影響が考えられる。ジュゴンの近くを船が航行した際、摂餌を中断する、深場へ泳ぎ去るといった回避行動が観察されている (Preen, 1992; Gerrand, 1999; Hodgson, 2004; Hodgson and Marsh, 2007; Adulyanukosol, 2010)。対象海域では日中に船舶の航行が多く、また沿岸部では漁業が行われている (第 2 章)。音響モニタリング範囲内におけるジュゴン鳴音数の増減が個体数を反映しているとする、ジュゴンは沿岸における人間活動を避けて日中は沖の深場で過ごし、夜間に沿岸へ来遊するという従来の説を支持する結果であった。

後者の場合、鳴音数は滞在個体数よりも各個体の発声頻度に依存する。ジュゴンは日中よりも夜間に活動的である (Anderson and Birtles, 1978)。飼育個体では活動的なときに発声頻度が高い (Hishimoto *et al.*, 2005; Hishimoto, 2007)。マナティは社会行動が活発な時に発声頻度が高く、休息時にはほとんど発声しない (O'Shea and Poché, Jr, 2006)。よって野生ジュゴンも夜間に個体の行動が活発な

ときに、より頻繁に発声する可能性が考えられる。

ジュゴンは鳴音を個体間コミュニケーションに利用することから、発声頻度における他個体の存在の影響は大きい。飼育個体では他個体との接触時に発声が多い (Hishimoto *et al.*, 2005; Hishimoto, 2007)。オーストラリア・モートン湾のジュゴンは、群れサイズが大きいほど発声頻度が高い (Damiani, 2011)。ジュゴンは母仔間の結びつきが強く (Anderson and Birtles, 1978; Nishiwaki and Marsh, 1985; Adulyanukosol *et al.*, 2003)、マナティと同様、母仔間のコミュニケーションに鳴音が重要な役割をもつと考えられる。録音地点周辺においては母仔ペアの発声頻度は低いものの (Ichikawa *et al.*, 2012)、タリボン島周辺海域では母仔ペアを含む様々なサイズの群れが観察されている (Hines *et al.*, 2005a; Adulyanukosol and Thongsukdee, 2005; Adulyanukosol *et al.*, 2008; Adulyanukosol, 2010)。群れサイズやその構成が 1 日の中でどのように変化するか現時点では不明であるが、それらが個体の発声頻度に影響を与える可能性が考えられる。

動物の発声頻度は、天敵の存在による興奮度にも影響される (Seyfarth *et al.*, 2010)。オーストラリアではジュゴンを捕食する主な天敵としてサメがいるが (Wirsing *et al.*, 2011)、対象海域ではサメによる捕食は 1 例が報告されているのみであり (Adulyanukosol, 2010)、天敵の存在による発声行動への影響は少ないと考えられる。

また 2 章で示したとおり、対象海域では夜間に比べて日中の海中雑音レベルが高い。雑音による鳴音のマスキングを避けるため、静かな夜間に来遊する、あるいは活発に発声すると考えられる。

朝と夕方において、高い周波数帯 (倍音) に卓越周波数をもつ鳴音の割合が増加した (Figure 3-6; Table 3-3)。その理由として、高い周波数特性の鳴音を持つ個体が多く発声した、あるいは同一個体が鳴音の周波数を高く変化させた 2 つの可能性が考えられる。倍音数は同一個体においても日によって異なることから (O'Shea and Poché, Jr., 2006)、鳴音の卓越周波数が基音であるか倍音であるかは、個体差よりも個体の発声環境に依存する可能性が高い。ある状況下で個体が鳴音の周波数を高く変化させたとすると、背景雑音の影響が考えられる。

両生類、鳥類および哺乳類の一部種では、騒々しい環境下において通常より高い周波数の鳴音を発することで、騒音によって鳴音がマスキングされるのを回避することが知られる（例えば Slabbekoorn and Peet, 2003）。対象海域では朝から昼にかけて、0.3～5 kHz 周辺の低周波～中周波数帯の背景雑音レベルが高く、また夕方も 5 kHz 前後の中周波数帯の背景雑音レベルが高かった（第 2 章）。中周波数帯の雑音はジュゴン鳴音の主要な周波数帯（3～8 kHz）と重複する。よってジュゴンにおいても雑音による鳴音のマスキングを避けるため、背景雑音レベルに応じて鳴音周波数を変える可能性が考えられる。

鳴音数の月間比較において、1 日あたりの鳴音数は 11 月および 1 月にくらべて 3 月で約 2 倍と多かった（Figure 3-7）。一般的に、哺乳類は発情期になるとオスの発声が増加する。ジュゴン飼育個体では、他個体へ接触するなど活動的なときに発声が多い（Hishimoto *et al.*, 2005; Hishimoto, 2007）。対象海域にはジュゴンが通年生息しており、2 月および 3 月に交尾行動が観察されている

（Adulyanukosol *et al.*, 2007; Adulyanukosol, 2010）。よって 3 月は個体の活動が活発なため発声頻度が高かった可能性が考えられる。ただし、本研究で比較した時期は全て乾季であり、雨季の発声頻度は不明である。また、特定の海草藻場におけるジュゴンの摂餌来遊頻度には季節差がみられることから（向井, 2009）、本結果における各月の鳴音数は、個体の発声頻度よりも来遊個体数を反映している可能性もある。さらに 3 月は船舶の航行が多いこと（2 章）と関連していることも考えられる。しかしこれまでに実施された対象海域におけるジュゴンの目視観察は乾季に偏っているため、個体の行動・分布の通年での季節変化は現時点では不明であり、本研究で示された鳴音数の時期による差が来遊個体数によるものか、発声頻度によるものかを現状で結論づけることはできなかった。

鳴音数と潮位の関係について、最大干満差が小さいほど鳴音数が多かった（Figure 3-9）。ジュゴン鳴音は大潮よりも干満差が小さい小潮の時期に多く検出されており（Ichikawa *et al.*, 2006）、本研究でも潮汐に関する変数のうち干満差がジュゴン鳴音数に大きく影響することが示された。オーストラリアに生息するジュゴンは上げ潮時には沿岸へ、下げ潮時には沖へ移動する（Sheppard *et al.*,

2009)。ジュゴンは潮汐による流れを利用することで、個体の移動に費やすエネルギーを節約するためである。対象海域においてもジュゴンは上げ潮時に沿岸の海草藻場へ来遊して摂餌し (Amamoto, 2009)、下げ潮にしたがって沿岸の海草藻場から深場へと移動する (Adulyanukosol, 2010)。対象海域の定点における鳴音数の増減は、潮汐に応じたジュゴンの来遊パターンに対応している可能性が高い (Ichikawa *et al.*, 2006; Ichikawa, 2007)。よって干満差が小さいときは水深変化が少なく個体への負担が少ないため、より多くのジュゴンが沿岸に位置する録音地点周辺に滞在していたと考えられる。

本章では受動的音響調査手法によって取得したデータを用いて、環境と鳴音特性の時系列変化から個体の行動を推察し、音響観察が目視観察では難しい夜間および長期間における個体の行動を追跡する一助となりうることを示した。ジュゴンの音響コミュニケーションにおける鳴音の役割を知るためには、発声時における個体の行動、他個体の存在、群れサイズといった背景情報が必要である。またジュゴンの鳴音特性には個体差が示唆されており (Komiyama, 2013)、個体の属性を考慮する必要がある。これら情報は音響観察および従来の目視観察による個体の行動情報を組みあわせることで取得可能である。対象個体の鳴音特性と発声時の行動特性を比較することで、鳴音の役割を推察することが期待できる。

第4章 環境雑音下におけるジュゴン鳴音特性

4-1. 背景

音は動物にとって、個体間のコミュニケーション、餌生物の探索、捕食者からの回避のために必要不可欠な情報源である。しかし環境中の雑音は、これら動物の利用している音を妨害する。一般に、都市部では産業活動や交通など様々な人間活動に起因する人工音が数多く存在するため、総じて環境中の雑音レベルが高い。自然音・人工音にかかわらず雑音レベルが高い環境下に生息する動物は、雑音による鳴音のマスキングを回避するため様々な短期的戦略を持つ。そのひとつが、鳴音特性を変えることで鳴音が雑音にかき消されるのを防ぐ「発声調節」である (Patricelli and Blickly, 2006; Tyack, 2008)。

音響コミュニケーションにおける個体の発声調節に関して、陸上生物では多くの研究が行われてきた。騒音下で無意識に声の音圧が上がる現象はロンバード効果と呼ばれ、両生類、鳥類および哺乳類の様々な種で報告されている (Lombard, 1911; Brumm, 2004; 2006; Brumm *et al.*, 2004; 2009; Sun and Narins, 2005; Warren *et al.*, 2006; Nemeth and Brumm, 2010)。ロンバード効果は野生動物に限らず、飼育個体によるコントロール実験でも証明されている (Kobayashi and Okanoya, 2003; Halfwerk and Slabbekoorn, 2009)。発声調節は音圧以外の鳴音特性にも起こる。例えばシジュウカラ (*Parus major*) やウタスズメ (*Melospiza melodia*) は都市部や高速道路周辺の雑音レベルが高い環境下において、通常より高い周波数の鳴音を発する (Slabbekoorn and Peet, 2003; Wood and Yezerinac, 2006)。

Payne and Webb (1971) は海中騒音が海産哺乳類に与える影響について初めて言及し、ヒゲクジラの繁殖活動に低周波鳴音が重要であること、海中騒音の増加によって鳴音がマスキングされその伝達が困難になること、鳴音のマスキングによる繁殖活動への影響は個体群レベルに及ぶ可能性があると指摘した。海中騒音が海産哺乳類の音響コミュニケーションへ及ぼす影響に着目した研究は、1990 年代以降徐々に増加しており、発声調節に関して鯨類で多くの報告がある

(Parks and Clark, 2007)。例えば、北極海に生息するベルーガ (*Delphinapterus leucas*) では、船舶が多く航行して海中雑音レベルが高い海域において、鳴音の音圧が上がり (Shiefele *et al.*, 2005)、周波数が高くなり、発声が繰り返される (Lesage *et al.*, 1999)。シャチ (*Orcinus orca*) では、生息海域におけるホエールウオッチング船の増加にしたがって、鳴音の持続時間が長くなり (Foote *et al.*, 2004)、海中雑音レベルが高くなるほど鳴音の音圧が上がる (Holt *et al.*, 2008)。また 1980 年前後と 2000 年代のシャチの鳴音の比較では、海中雑音レベルが高い 2000 年代の鳴音のほうが持続時間が長い (Wieland *et al.*, 2010)。ザトウクジラ (*Megaptera novaeanglia*) がソーナー音に曝されたとき、ソングの持続時間は通常より長くなる (Miller *et al.*, 2000)。タイセイヨウセミクジラ (*Eubalaena glacialis*) では、海中雑音レベルが高いほど鳴音の音圧が上がり (Parks *et al.*, 2010)、周波数が高くなる (Parks *et al.*, 2007)。シナウスイロイルカ (*Sousa chinensis*) では船舶通過後に発声頻度が増加する (Van Parijs and Corkeron, 2001)。ハンドウイルカ (*Tursiops truncatus*) では、海中雑音レベルが高い海域においてはホイッスルの周波数が低く、周波数変調が小さくなり (Morisaka *et al.*, 2005)、船舶音の存在下においては発声頻度が上昇する (Buckstaff, 2004)。上記をはじめとする報告例を総合すると、海産哺乳類もまた陸上生物と同じように騒音存在下で発声調節を行う可能性が高い。

海牛類における同様の研究は、鯨類に比べて数少ない。ジュゴンでは船舶通過前後において、鳴音の周波数および持続時間に差がみられる (Sakamoto *et al.*, 2006; Sakamoto, 2007)。混獲防止用のピンガー音 (周波数 4 kHz) の有無によって、ジュゴンの発声頻度は変化しない (Hodgson *et al.*, 2007)。生息海域の海中雑音レベルが高いとき、摂餌時および社会行動時のマナティでは発声頻度が低下する (Miksis-Olds, 2006; Miksis-Olds *et al.*, 2007)。しかし上記のほかに研究例はなく、騒音による海牛類の音響コミュニケーションへの影響は不明である。

本章では、騒音下におけるジュゴンの発声調節に関する基礎的情報を得るため、騒音とジュゴン鳴音特性の関係を調べた。海中騒音はその持続時間から、様々な自然音・人工音が混在した持続的な雑音、および船舶通過や工事など一

時的に発生する人工音がある。まず持続的な騒音下におけるジュゴン発声調節を検証するため、背景雑音レベルとジュゴン鳴音特性の関係を調べた。次に、一時的な騒音下におけるジュゴン発声調節を検証するため、船舶音前後におけるジュゴン鳴音特性を比較した。先行研究である Sakamoto *et al.* (2006) は、本研究と同海域において船舶音に対するジュゴン鳴音特性の変化を示唆したが、対象事例が 3 例と少なかった。本研究では、より多くのデータを対象として船舶音前後におけるジュゴン鳴音特性を比較した。

4-2. 方法

データ

2006 年 11 月および 2008 年 1 月に、タイ国トラン県タリボン島南東沿岸で録音された船舶音およびジュゴン鳴音を解析対象として用いた（詳細は第 2 章第 2 節および第 3 章）。船舶音前後における鳴音特性の解析では、上記データに加えて 2005 年 10 月に同海域で録音された船舶音および鳴音の解析結果を一部使用した（Sakamoto *et al.*, 2006; Sakamoto, 2007）。

同海域における AUSOMS-D を用いたジュゴン鳴音の音響検出範囲は、球面拡散モデルに基づく計算から 251.2 m と推定されている（Ichikawa *et al.*, 2009）。また第 2 章第 2 節で述べたとおり、船舶の音響検出範囲は半径 200 m で約 90% である（Sakamoto *et al.*, 2006; Sakamoto, 2007）。本研究のジュゴン鳴音および船舶音の検出手法は、上記の先行研究と同様の検出閾値を用いて行った。したがって本研究においても、ジュゴン鳴音および船舶音ともに半径 200 m 範囲内で 90% 以上の音が検出可能とした。半径 200 m のモニタリング範囲内に船舶とジュゴンが存在した場合、船舶とジュゴン間の距離は最大 400 m であり、そのとき船舶と AUSOMS-D 間の距離は 200 m となる。球面拡散を仮定した場合の音の伝搬損失は、音源からの距離が 400 m では 52 dB、200 m では 46 dB となる。AUSOMS-D およびジュゴンがそれぞれ受信した船舶音の音圧レベルの差は最大でも 6 dB (= 52–46 dB) であり、AUSOMS-D に録音された船舶音がジュゴンに届かなかった可能性は低い。よって AUSOMS-D に録音された音響モニタリング範囲内の船舶音は、ジュゴンも感知していると仮定した。

解析方法

騒音に対する動物の発声調節は、主には発声頻度、持続時間、音圧レベル、および周波数の変化にみられる（Patricelli and Blickly, 2006）。本研究でも上記 4 つの鳴音特性を対象とした。ただし音圧レベルは音源音圧ではなく受波音圧である。対象データに録音されたトリル鳴音は極めて少なかったため、チャープ

のみを解析対象とした。ジュゴンのチャープは基音のみの純音が最も多いが、複数の倍音をもつ鳴音も存在する（第3章）。基音と同様、倍音は音の音色を決定する重要な成分である。船舶音前後における鳴音特性の解析では、変数のひとつとして倍音数も調べた。

4-2-1. 背景雑音と鳴音特性

1 時間ごとの背景雑音レベルと同時間帯におけるジュゴン鳴音特性を調べた。1 時間ごとの背景雑音レベルは2章で計算した値を用いた。鳴音の解析項目は発声頻度、持続時間、音圧レベルおよび卓越周波数である。

1 時間ごとの背景雑音レベルと同時間帯における鳴音の持続時間および音圧レベルの平均値について相関を求めた。また背景雑音レベルをその頻度分布に基づいて便宜的に区分し、各背景雑音レベルにおける発声頻度および鳴音卓越周波数の割合を求めた。チャープの卓越周波数分布に基づいて、周波数を便宜的に3～6 kHz、6～9 kHz および9～12 kHz と区分した（Figure 3-4）。3つの各周波数帯は、鳴音の基音、第1倍音、および第2倍音をカバーすると仮定した。それぞれの周波数帯の割合を比較することによって、鳴音周波数の変化を調べた。

4-2-2. 船舶音と鳴音特性

船舶通過前後における鳴音特性を比較した。なお船舶音とジュゴン鳴音の周波数帯は重複しており、船舶通過中はジュゴン鳴音を正確に抽出することが難しいため、解析から除外した。船舶通過前および通過後とはそれぞれ、2章で定義した船舶音の開始時刻より前の5分間（以後、前半）および終了時刻より後の5分間（以後、後半）と定義した。2章で検出した船舶音のうち、他の船舶音と重複しておらず、かつ船舶音前後にジュゴン鳴音が録音されていた12事例を対象とした。内訳は2006年のデータから5例、2008年のデータから5例、さらにSakamoto（2007）の2005年のデータ3例のうち2例を加えた12例であった（Table 4-1）。2005年の2例は2005年10月27日～11月1日にかけて録音され

た水中音データを解析したものである。残る 1 例は録音期間中に人工音放音実験が行われていたため、不適切と判断して解析から除外した。2005 年のデータの 2 例を除く船舶音 10 隻の持続時間は 50 秒から 178 秒であった。

対照群として、船舶音が無い時間帯において継続的に録音されたジュゴン鳴音について、任意の空白期間前後 5 分間における鳴音特性を比較した。2 章で示したように、船舶音の持続時間はその多くが 3 分以下であることから、任意の空白期間を 3 分とした。空白期間前後 5 分間にジュゴン鳴音が継続して録音されていた区間は 13 例であった (Table 4-2)。

鳴音の解析項目は、発声頻度 (1 分あたりの鳴音数)、持続時間、音圧レベル、卓越周波数および倍音数の 5 項目である。2005 年データ 2 例は、解析項目に倍音数が入っていない。鳴音特性における船舶音 (有・無) および時間経過 (前半・後半) の影響を調べた。発声頻度はウィルコクソン符号付順位和検定を用いて、船舶音の有無のそれぞれの場合において前半と後半の値を比較した。鳴音の持続時間、音圧レベル、卓越周波数および倍音数における船舶音および時間経過の効果について、2 元配置分散分析 (交互作用を含まない) を用いて調べた。

Table 4-1. Data of the 12 cases when there were boat noises. The dominant frequency was calculated at the frequency with the highest received SPL between 200 and 20000 Hz, at the times of the closest boat approaching.

ID	Month, Date, Year	Start time (hh:mm)	Duration (sec)	Dominant frequency (Hz)
#0512	Oct. 28, 2005	6:56	64	-
#0518	Oct. 29, 2005	10:16	131	-
#1701	Nov. 17, 2006	5:36	178	904
#1901	Nov. 19, 2006	11:16	98	344
#2001	Nov. 20, 2006	14:05	134	387
#2101	Nov. 21, 2006	11:34	117	1077
#2102	Nov. 21, 2006	19:11	106	1421
#08002	Jan.11, 2008	10:46	56	2110
#08076	Jan.12, 2008	10:36	50	215
#08081	Jan.12, 2008	11:08	84	388
#08182	Jan.13, 2008	12:08	104	301
#08204	Jan.14 2008	11:06	125	388

Table 4-2. Data of the 13 cases when there was no boat noise

ID	Month, Date, Year	Start time (hh:mm)
#0601	Nov. 17, 2006	1:00
#0602	Nov. 18, 2006	3:20
#0603	Nov. 20, 2006	23:19
#0604	Nov. 21, 2006	0:01
#0605	Nov. 21, 2006	22:26
#0801	Jan. 11, 2008	21:03
#0802	Jan. 12, 2008	1:02
#0803	Jan.13, 2008	1:02
#0804	Jan.13, 2008	22:07
#0805	Jan.14, 2008	0:49
#0806	Jan.14, 2008	1:26
#0807	Jan.14 2008	22:19
#0808	Jan.14 2008	23:18

4-3. 結果

4-3-1. 背景雑音と鳴音特性

1 時間ごとの背景雑音レベルは 72.5～77.9 dB であった（第 2 章）。1 時間ごとの背景雑音レベルと鳴音の持続時間および音圧レベルの関係をそれぞれ調べた（Figure 4-1）。なおスミルノフ・グラブス検定により、背景雑音レベルデータから 2 点、鳴音の持続時間データから 3 点の外れ値を除いた。背景雑音レベルと鳴音の持続時間に相関は認められなかった（ $p > 0.05$ 、Figure 4-1a）。背景雑音レベルと鳴音の音圧レベルとの間には有意な正の相関が認められ、背景雑音レベルが高いほど鳴音の音圧レベルが高い傾向があった（ $r = 0.34$ 、 $p < 0.001$ 、Figure 4-1b）。

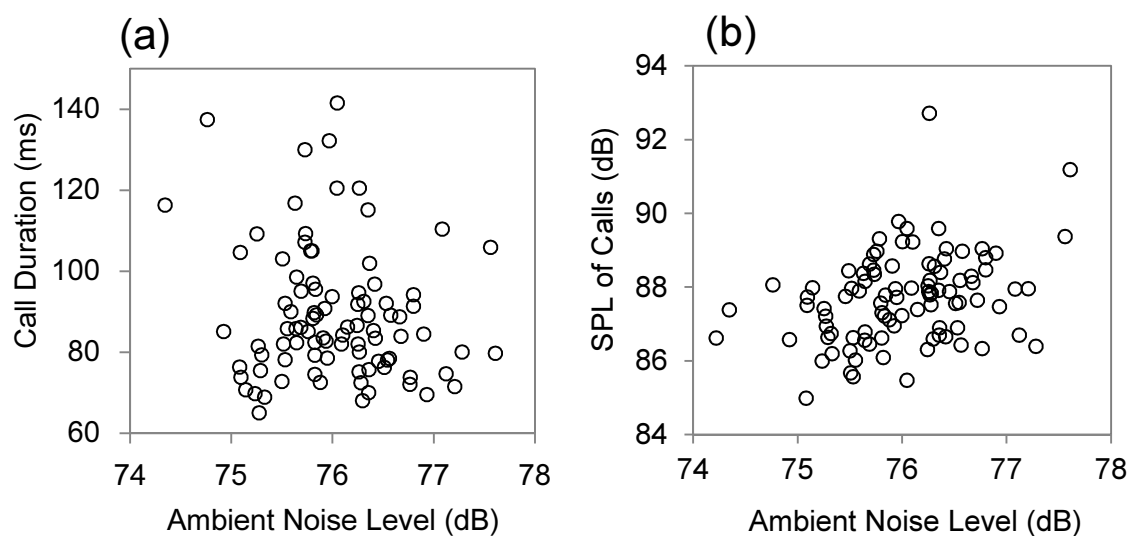


Figure 4-1. Relation between the (a) call duration and ambient noise level ($n = 91$), and (b) received SPL of calls and ambient noise level ($n = 95$)

1 時間ごとの背景雑音レベルの頻度分布に基づいて（Figure 4-2）、背景雑音レベルを便宜的に 76 dB 未満、77 dB 未満、78 dB 未満および 78 dB 以上と 4 段階に区分した（ $n = 9$ 、79、59 および 13）。4 段階の背景雑音レベルにおける発声頻度および鳴音の卓越周波数の割合を比較した。各背景雑音レベルにおいてジュ

ゴン発声頻度に有意な差は認められなかった（分散分析 $F(3,156) = 2.05$ 、 $p = 0.109$ ）。各背景雑音レベルにおいて卓越周波数の割合は有意に異なった（ $\chi^2 = 25.23$ 、 $df = 6$ 、 $p < 0.001$ 、Figure 4-3）。残差分析を行ったところ、背景雑音レベル 78 dB 以上では 3～6 kHz の鳴音の割合が有意に低く（ $p < 0.05$ ）、6～9 kHz の鳴音の割合が高かった（ $p < 0.001$ ）。

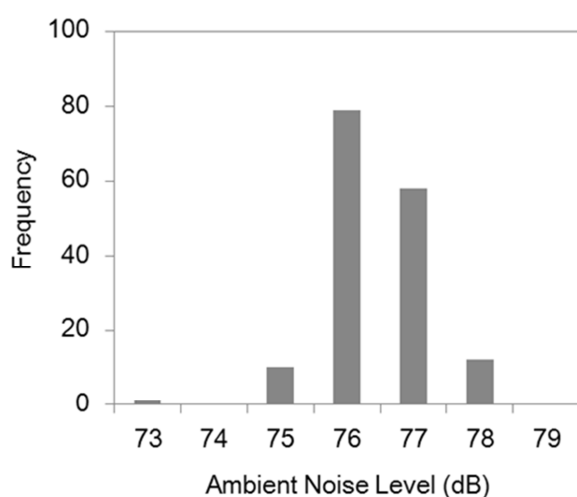


Figure 4-2. Frequency distribution of ambient noise level ($n = 160$)

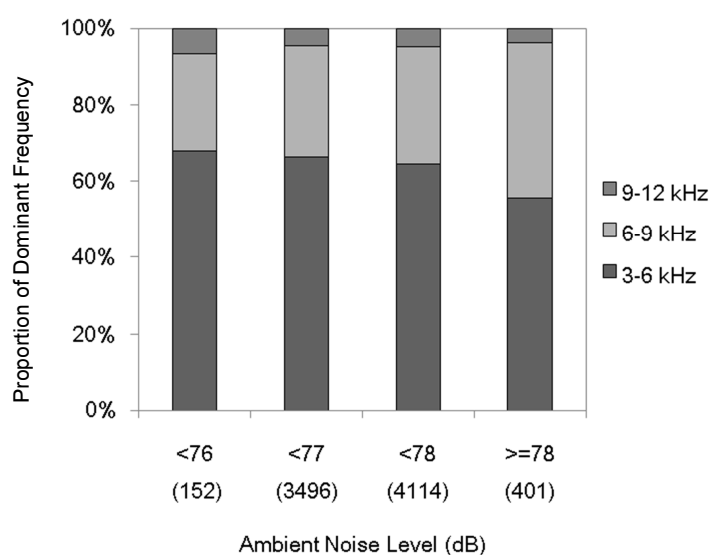


Figure 4-3. Proportion of dominant frequency of calls with different ambient noise levels ($n = 160$)

Table 4-3. Residual analysis for the proportion of dominant frequency of calls with different ambient noise levels.

	3 - 6 kHz	6 - 9 kHz	9 - 12 kHz	>12 kHz
<76 dB	0.71	-1.41	1.21	1.29
<77 dB	1.54	-1.32	-0.52	-0.37
<78 dB	0.01	-0.29	0.52	0.39
>=78 dB	-4.11** ↓	4.70** ↑	-0.79	-0.88

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ↑ significantly increase, ↓ significantly decrease

鳴音検出における背景雑音の影響を把握するため、各背景雑音レベルにおける鳴音の信号対雑音比（SN 比）を調べた。背景雑音レベルが最も低い 76 dB 未満および最も高い 78 dB 以上における SN 比について、3～6 kHz、6～9 kHz および 9～12 kHz の周波数帯ごとに比較した（Figure 4-4）。背景雑音レベルにかかわらず、高い周波数帯ほど SN 比が高かった。背景雑音レベル 76 dB 未満と比べて 78 dB 以上では、3～6 kHz の SN 比が有意に低かった（ $t = 6.96$, $df = 335$, $p < 0.001$ ）。

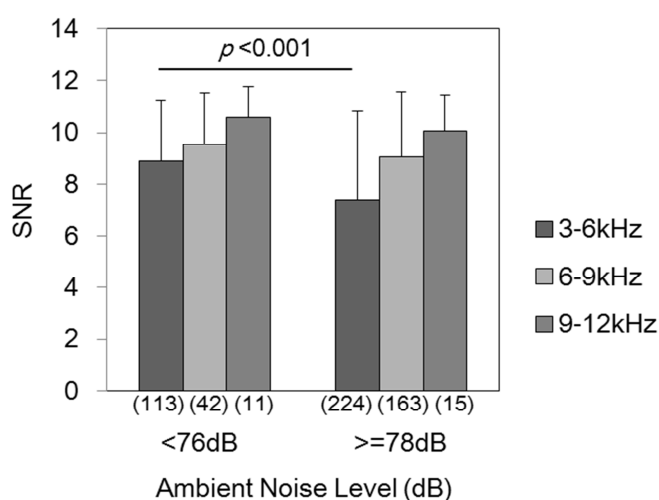


Figure 4-4. Signal to noise ratio (SNR) in each frequency with different ambient noise levels, <76 dB and >=78 dB. Each sample sizes are in parentheses

4-3-2. 船舶音と鳴音特性

「船舶音なし」13 例および「船舶音あり」12 例において、それぞれジュゴン鳴音は 786 鳴音および 690 鳴音であった。「船舶音なし」「船舶音あり」「前半」「後半」の各群における鳴音特性を Table 4-4 および Figure4-5 に示した。発声頻度は船舶音の有無にかかわらず、前半・後半で有意な差は認められなかった（船舶音なし $Z = -0.16$, $p = 0.87$; 船舶音あり $Z = -0.08$, $p = 0.94$ ）。鳴音の持続時間は経過時間において有意な差が認められ、前半に比べて後半で長かった ($F(1, 1424) = 49.41$, $p < 0.001$)。音圧レベルおよび卓越周波数は、船舶音および経過時間のいずれも有意な差は認められなかった（音圧レベル $F(1, 1424) = 3.09$, $p = 0.08$ 、卓越周波数 $F(1, 1424) = 0.05$, $p = 0.83$ ）。倍音数は船舶音の有無で有意差が認められた ($F(1, 1423) = 4.10$, $p = 0.04$)。「船舶音あり」では前半より後半の倍音数が多かった（前半 0.24 ± 0.44 、後半 0.44 ± 0.65 、Figure 4-5）。

Table 4-4. Call characteristics before and after the blank period (“No boat”) and the boat noise (“With boat”). Only call rates were represented as median value and quartiles. * median value, ** 25% quartile - 75% quartile

Variable	"No boat"						"With boat"					
	Before			After			Before			After		
	Mean	±SD	n	Mean	±SD	n	Mean	±SD	n	Mean	±SD	n
Call rate (calls / min)	3.8*	3.4-9.5**	13	3.7*	2.6-8.3**	13	3.6	1.5-6.1**	12	3.3*	1.9-13.5**	12
Duration (ms)	93.2	22.1	398	109.6	37.6	388	97.7	29.8	280	103.2	32.5	410
Sound pressure level (dB)	88.1	2.6	398	88.1	2.3	388	87.7	2.6	280	88.2	2.9	410
Dominant frequency (Hz)	5081.2	1855.4	398	4920.6	1636.9	388	5011.6	1831.2	200	5172.2	1922.4	344
Harmonics	0.36	0.50	398	0.32	0.54	388	0.24	0.46	200	0.44	0.65	344

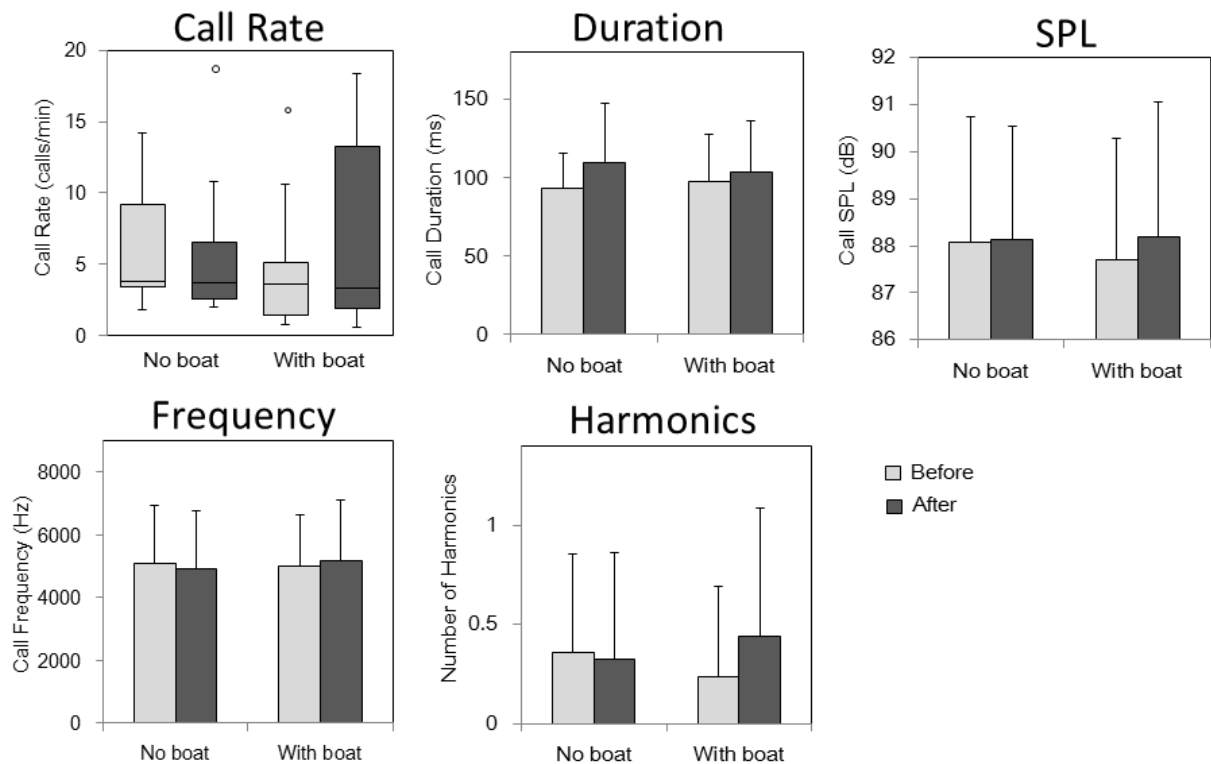


Figure 4-5. The differences in call characteristics before and after the blank period (“No boat”) and the boat noise (“With boat”). Error bars show standard deviation. Call rates were drawn in boxplot. The line in each box show the median, and the lower and upper edges of the box are the 25% and 75% values. The two whiskers represent the minimum and maximum values. The white circles represent outliers. Duration, SPL, frequency and harmonics were drawn with mean \pm SD.

4-4. 考察

背景雑音レベルの影響

背景雑音レベルが高いときは、鳴音の音圧レベルが高く (Figure 4-1b)、高い卓越周波数を持つ鳴音割合が増加した (Figure 4-3)。背景雑音レベルは時間帯によって変動し、特に 0.3~5 kHz の低~中周波数帯での変動幅が大きい (Figure 2-25)。ジュゴン鳴音の基音は 4 kHz 前後であり、背景雑音のうち変動が大きい周波数帯は鳴音の周波数と重複する。よって背景雑音による鳴音のマスキングを避けるために、鳴音の音圧レベルが上昇した可能性がある。ただし、本研究における鳴音の音圧レベルは音源音圧ではなく受波音圧である。録音機器と発声個体間の距離の変化によって音圧レベルが変化した可能性も排除できない。

音は高い周波数ほど距離減衰が大きく、ジュゴン鳴音の倍音もまた基音に比べて減衰が大きいと考えられる。距離が離れた個体と鳴音を使ってコミュニケーションをする場合、遠くまで伝わる低い周波数帯の音を利用の方が有利である。一方、近距離では音の伝達における減衰の影響は小さく、相手個体が近くにいる場合は高周波数帯の鳴音を発する (Morton, 1977)。本結果では背景雑音レベルが高いときは鳴音の低周波数帯 (3~6 kHz) の SN 比が特に低かった (Figure 4-4)。また背景雑音レベルにかかわらず鳴音は高い周波数帯ほど SN 比が高かった。背景雑音レベルが高い状況では、高い周波数の鳴音を利用したほうが鳴音を相手個体へ伝達するのに有利と考えられる。カリフォルニアジリス (*Spermophilus beecheyi*) は、低周波騒音の存在下において鳴音の音響エネルギーをより高い倍音にシフトさせる (Rabin *et al.*, 2003)。ジュゴンのチャープの 3~6 kHz 周波数帯は基音、6~9 kHz および 9~12 kHz の周波数帯はそれぞれ第 1 倍音、第 2 倍音を代表する。よって背景雑音レベルが高い時に高い卓越周波数を持つ鳴音の割合が増加した理由として、音響エネルギーを基音から倍音にシフトさせたと考えられる。

船舶音の影響

船舶音の有無にかかわらず、ジュゴン鳴音の持続時間は対象データ区間の前半よりも後半で長かった (Table 4-4, Figure 4-5)。ジュゴンは一度鳴き始めるとしばらく鳴き続ける傾向があり、本研究の水中音データにおいてもジュゴン鳴音が継続的に 10 分以上にわたって録音されていることがあった。よってジュゴンは時間経過とともに鳴音の持続時間を長くすることが示唆された。

船舶通過後に倍音数が多かった理由について (1) 発声個体が鳴音特性を変えた、(2) 音の伝搬特性が変化した、(3) 他個体の鳴音が録音された、という 3 つの可能性があげられる。(1) では、鳴音の音源音圧の上昇にしたがって倍音成分が現れたと考えられる。ただし本研究では鳴音の音源音圧を推定しておらず、実際に鳴音の音源音圧が上昇したか検証はできなかった。また船舶通過前後において鳴音の受波音圧レベルに有意差は見られなかった。(2) では、発声個体が移動してハイドロフォンとの相対距離が変化した結果、音の伝搬経路が変わり、録音された鳴音特性が影響をうけたと考えられる。音は音源から離れるにつれて高い周波数成分が減衰し倍音成分が失われる (Rasmussen *et al.*, 2006)。船舶通過前後にジュゴンが移動して録音機器から個体までの距離が変化した場合、個体が発した鳴音の音響特性が同じであっても、鳴音が録音機器に到達するまでの伝搬経路の変化に伴って倍音の現れ方が変わった可能性がある。(3) では、音響モニタリングエリア内に異なる鳴音特性をもつ複数個体が存在し、前半と後半で発声していた個体が異なると考えられる。上記の主な 3 つの可能性以外に、3 章で述べたように録音機器に対する個体の向きが影響した可能性があげられる。いずれの可能性にせよ、船舶音前後において個体の行動あるいは発声行動が変化したことを示唆する結果であった。

動物の発声調節は、騒音による鳴音のマスキングを避けるべく、発声個体が効率的に鳴音を発信し、相手個体が確実にその鳴音を受け取るための短期的な戦略である (Patricelli and Blickly, 2006; Tyack 2008)。本結果から、ジュゴンもまた騒音存在下において発声調節を行うことが示唆された。

本研究の音響データは受動的音響観察によって取得しており、発声個体および船舶の特定・識別をしていない。したがってジュゴン鳴音特性にみられた差異が、同一個体による発声の変化によるのか、音の伝搬経路の変化によるのか、あるいは他個体の鳴音によるのか不明であった。ジュゴン発声行動における騒音の影響を厳密に評価するためには、発声個体・船舶・録音機器間の相対距離および発声個体・船舶の移動方向を考慮する必要がある。それらの情報を得る方法として、複数の録音機器を配置した音響アレイを用いた音響観察が考えられる (Cato *et al.*, 2005)。複数の位置で録音された音響情報から発声個体および船舶を測位し、両者間の相対距離を計算して音源音圧を推定することで、対象個体が曝露した船舶音の音圧レベルを把握できる。また近年、音響技術の進歩とともに、個体に直接装着する小型の録音機器（音響データロガー）を用いた音響観察が行われるようになってきた (Johnson and Tyack, 2003; Johnson *et al.*, 2009)。音響データロガーは常に対象個体に密着しているため、対象個体が発した鳴音の音源レベルおよび実際に個体が経験した雑音や船舶音の曝露音圧レベルの情報を取得でき、ロンバード効果について精確な評価が可能となる (Parks *et al.*, 2010)。

第5章 総合考察

5-1. 結果の概要

環境中には様々な音から構成される雑音が存在し、そのうち対象種にとって不快な音が騒音となる。騒音の多くは人間活動によって発生する人工音である。本研究では、海中騒音がジュゴンの発声行動に与える影響を明らかにすることを目的とし、ジュゴン生息環境の音響特性、ジュゴン鳴音特性、および騒音下における発声調節について調べた。

第2章では、対象海域における船舶活動状況および海中雑音の時系列変動について調べた。対象海域を航行する船舶は、主に小規模沿岸漁業を営む小型漁船であり、季節にかかわらず朝から昼にかけて最も活動的であった。海中雑音レベルは朝9時～12時に最も高く、特に1 kHz 前後を中心とした低～中周波数帯で時間帯による変動が大きかった。船舶音は低～中周波数帯に音響エネルギーが集中していること、1日における船舶活動と海中雑音レベルの時系列変動パターンがほぼ一致していたことから、対象海域においても船舶音が海中雑音に大きく寄与すると示された。

第3章では、ジュゴン鳴音特性の日周変化、季節変化、および潮位との関係を調べた。ジュゴン鳴音数は日中よりも夜間に多く、また潮汐の干満差が小さいときほど多かった。1日あたりの鳴音数は11月、1月に比べて3月で多かった。潮汐リズムに応じた鳴音数の増減は、ジュゴンの来遊数を反映している可能性が高いとされている (Ichikawa *et al.*, 2006; Ichikawa, 2007)。よって干満差が小さいときは水深変化が少なく個体への負担が少ないため、沿岸よりの録音地点により多くの個体が滞在していると考えられる。ジュゴンは主に日中は沖で過ごし夜間に沿岸の浅瀬に来遊すること (Sheppard *et al.*, 2009)、タリボン島東部沿岸の海草藻場へ夜間に来遊して摂餌すること (Tsutsumi *et al.*, 2005)、本研究および既存研究で示されたように発声頻度は日中より夜間に多いこと

(Ichikawa *et al.*, 2006; Ichikawa, 2007)、タリボン島周辺の他地点にもジュゴンは

分布しているにもかかわらず、鳴音が検出されるのは本録音地点に限られること（Ichikawa *et al.*, 2009; 2012）から、同地点はジュゴンが深場と沿岸の海草藻場を行き来する際の移動経路、あるいは海草藻場で摂餌する前後に社会行動を行う場所と考えられる。

第 4 章では、騒音下における発声調節を検証するため、持続的雑音および一時的雑音下におけるジュゴン鳴音特性をそれぞれ調べた。海中雑音レベルが高い時間帯は、鳴音の音圧レベルが高く、高い卓越周波数をもつ鳴音が増加した。また船舶通過後は鳴音の倍音数が増加した。これら結果から、ジュゴンは通常よりも強くあるいは高い周波数の鳴音を利用することで、騒音環境に適応することが示唆された。ただし、本研究における鳴音の音圧レベルは音源音圧ではなく受波音圧である。録音機器と発声個体間の距離の変化によって音圧レベルが変化した可能性もあり、結果の解釈に注意が必要である。

5-2. 現時点における海中騒音とジュゴンへの影響

本研究の対象海域における船舶航行数は、最も多い 3 月で 1 日あたり 71.2 隻、最も活動が多い朝の時間帯で 1 時間あたり平均 6 隻であった。船舶との衝突によるジュゴンの死傷事故が度々報告されるオーストラリア・モートン湾南部海域では、定期航路上を 1 日あたり 60 隻のフェリーが通過し、それに加えてレクリエーションを目的とした高速の小型船が数多く航行する（Groom *et al.*, 2004）。日中の航行数は、概算で 1 時間あたり平均約 68 隻 / km² である（28 調査日で合計 2380 隻、1 調査あたり平均 85 隻、1 調査時間は平均 75 分; Preen, 1992）。本研究の船舶音モニタリング範囲を録音機器から半径 200 m と仮定すると、その面積は 0.13 km²、1 時間あたりの航行数は 46.2 / km² となる。またマナティと船舶との衝突が頻発するフロリダ都市部沿岸域においてマナティが遭遇する船舶は、1 時間あたり平均 23.6 隻である（Deutsch *et al.*, 2009）上記の船舶航行数は、本研究は定点で取得した音響データ、モートン湾のケースは陸上から対象格子

内の船舶移動方向に焦点をあてて目視観察したデータ、フロリダのケースはマナティに音響タグをつけて取得したデータである。よって個体が遭遇した船舶数を単純に比較できないものの、モートン湾のジュゴンやフロリダのマナティに比べて、トラン県沿岸のジュゴンは船舶に遭遇する機会が低いといえる。

とはいえ対象海域では夜間に比べて日中は船舶航行数が増加し、海中雑音レベルは最も変化が大きい 1 kHz 前後の周波数帯において約 10 dB 高かった。世界中のあらゆる海域において船舶数は年々増加している。対象海域においても地域経済や観光産業の発展により、将来的に船舶の航行が増加し、海中雑音レベルが上昇することが予想される。騒音に対して個体がどのように反応するのか予測し、またその影響を軽減させる対策を考える上で、騒音下における発声調節のメカニズムを理解することは必要不可欠である。そこで、騒音の影響評価研究が進んでいる他種を参考に、ジュゴンが海中騒音の存在下で発声調節を行うプロセスおよび個体への潜在的影響について考察した。

動物の音響コミュニケーションにおいては、まず鳴音が相手個体に認識されることが最も重要である。鳴音が同種他個体によって受信される範囲は、鳴音の音源音圧および背景雑音によって変動する (Marten and Marler 1977; Janik *et al.*, 2000; Lohr *et al.*, 2003)。そのため、鳴音はそれぞれの生息環境において最適な音響特性をもち (Marten and Marler, 1977)、生息環境の音響特性に応じて信号対雑音比が最大になるよう進化してきた (Brumm and Slabbekoorn, 2005)。

騒音下における動物の発声調節は、短期的に騒音による鳴音のマスキングを避ける有効な手段である。第 4 章の結果から、ジュゴンにおいて発声調節が起こり得る鳴音特性は音圧レベルおよび周波数 (倍音) と示唆された。つまりジュゴンは騒音による鳴音のマスキングを避けるために、鳴音をより強くあるいは高く発する可能性が高い。しかし個体が通常時とは異なる鳴音を発する場合、発声にかかる消費エネルギーが増加する、鳴音の伝達距離が短くなる、捕食者に見つかりやすくなる、といった不利益が生じる (Read *et al.*, 2014)。鳥類では、鳴音の音圧を上げることによって酸素消費量の増加および代謝率の上昇が起こり、消費エネルギーが増加する (Oberweger and Goller, 2001)。高い周波数帯の

鳴音は減衰がより大きく伝達距離が短くなるため、その音響通信範囲は通常の鳴音に比べて狭くなる。それにより鳴音が相手に認識されない可能性が大きくなる。また高い周波数帯の鳴音は、鳴音の持つ機能を最大限発揮できない可能性がある。例えば、鳴音がオスからメスへの求愛の機能を持つ場合、メスにとって高い周波数の鳴音は魅力的でなくなり、鳴音がオス同士の競争における警告ディスプレイの機能を持つ場合、高い周波数の鳴音は威嚇効果が減少するかもしれない (Patricelli and Blickley, 2006)。ジュゴンのチャープは、縄張り維持や個体識別に利用されると推察されていること (Anderson and Barclay, 1995)、鳴き交わしによって個体間の距離を把握できること (Ichikawa *et al.*, 2011)、他個体との接触時に発声が活発であることから (Hishimoto *et al.*, 2005; Hishimoto, 2007)、個体間の相互関係においてチャープが重要な要素であることは明らかである。よって鳴音特性の変化は、その相互関係に影響を及ぼす可能性が高い。ジュゴンの場合においても、より強い鳴音を発する場合には更なる消費エネルギーを必要とする可能性、より高い周波数の鳴音を発する場合には、鳴音の音響通信範囲が狭まり他個体とのコミュニケーション機会が減少する、あるいは鳴音の機能を発揮できない可能性が考えられる。

鳥類では、騒音環境下において音響コミュニケーションが阻害された場合、縄張り維持や求愛行動に支障をきたし、その結果として、繁殖成功度の低下、さらには個体数の減少を引き起こす可能性が指摘されている (Slabbekoorn and Ripmeester, 2008)。海産哺乳類においては発声調節を含む短期的な反応行動が、個体適応度の低下および個体数の減少といった長期的影響にどのように関連するか、そのメカニズムは一部の種では明らかになりつつあるが (Patricelli and Blickley, 2006; Bejder *et al.*, 2006; Lusseau and Bejder, 2007)、多くの種で未だ不明である。

5-3. ジュゴンの保全に関する提言

従来のジュゴン保全においては、ジュゴンへの直接的・間接的な脅威として、主には漁具による混獲、船舶との衝突、生息環境（特に餌場である海草藻場）の破壊・改変、人間活動による行動の攪乱に焦点が当てられ、それらの脅威を回避・低減する努力が行われてきた。その一方で、騒音に関してはほとんど注目されてこなかった。しかし船舶（＝騒音）に対してジュゴンが行動の変化を示すこと（Preen, 1992; Hodgson, 2004; Hodgson and Marsh, 2007）、本研究で示唆されたように騒音がジュゴンの発声行動を変化させる可能性があること、その他にも生理的ストレス、聴覚損傷を引き起こす可能性があり、騒音はジュゴンにとって間接的な脅威となりうる。ただし、その潜在的影響についてまだ多くはわかっていない。よって予防原則に則って、不可視的な騒音の影響を十分考慮した保全対策・管理方策を考えていかねばならない。

本研究の録音地点は、対象海域のなかでもジュゴン鳴音が多く観察される場所であり、騒音によるジュゴンの音響コミュニケーションへの影響という点で、最も懸念されるべき場所である。しかし鳴音が検出されない他地点にもジュゴンは分布する（Ichikawa *et al.*, 2009; 2012）。騒音によるジュゴンへの影響について音響コミュニケーションに限らず包括的に評価するには、ジュゴン分布海域全体における騒音の時空間分布を考慮する必要がある。

本研究では対象海域における騒音について、乾季の特定地点における海中雑音特性の時間分布を明らかにしたが、その空間分布は調べていない。騒音という観点からジュゴンの保全を実現するために、まずは騒音レベルが高い海域を予測することが求められる。騒音レベルが高い海域を特定するためには、海中騒音の主音源である船舶の位置とその音の伝搬範囲、特にジュゴンの可聴域や鳴音周波数と重複する低～中周波数帯の音の伝搬範囲を明らかにする必要がある。船舶の位置情報については、2章で述べたように漁船にGPSを装着する、あるいは4章で述べたように音響アレイを用いた音響測位によって取得可能である。船舶の位置情報、周波数帯ごとに推定した船舶音の伝搬距離、さらに2

章で明らかにした船舶航行量の時系列情報を組み合わせることで、時空間変動を考慮した騒音レベルが高い海域を予測することができる。

またジュゴンの保全において考慮すべきこととして、そこに暮らす地元住民の経済活動がある。日本とオーストラリアを除き、ジュゴンの生息海域は大半が途上国の沿岸域である。タリボン島の住民のように小規模漁業で細々と生計を立てている場合、ジュゴン保全のために経済活動が制限されることは死活問題となる。ジュゴンと人間が共存していくために、そこに生息するジュゴンへの騒音の影響度に限らず、地元住民の経済活動を考慮した段階的な保全区域の設定が効果的と考えられる。また効果的な保全を維持するためには、それぞれの保全区域における人間活動の状況、環境中の騒音特性、ジュゴンの分布状況を継続的にモニタリングし、変化に対して柔軟に対応することが重要である。

ジュゴンは観察が難しいことから、その行動生態に関するデータは断片的なものが多い。対象海域におけるジュゴンの継続的なモニタリングを実現するために、船上あるいは陸上からの目視観察、航空機による観察、海草藻場の食み跡調査、音響観察など様々な観察手法によって得られたデータをうまく組み合わせて利用する必要がある。環境モニタリングにおいては、様々な対象海域および対象種において本研究の社会学的手法および音響学的手法が適用可能である。

人間活動に伴って発生する騒音がジュゴンの発声行動に与える影響を明らかにした本研究は、現在、米軍飛行場移設の動向が注目される沖縄県名護市辺野古沿岸に生息する希少なジュゴン個体群への騒音の影響を訴えるものとして、また今後さらに重要になるであろう海中騒音問題を解決するための基礎的知見として、ジュゴンの保全に大きく貢献すると期待できる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、京都大学大学院 情報学研究科 生物圏情報学講座 守屋和幸教授、荒井修亮准教授（現・京都大学フィールド科学教育研究センター 海洋生物環境学分野 教授）、小山里奈准教授、東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科 鯨類学研究室 加藤秀弘教授には終始懇切なる御指導と御助言をいただいた。人間文化研究機構 総合地球環境学研究所 市川光太郎博士（現・京都大学フィールド科学教育研究センター 海洋生物環境学分野）には、音響解析を中心とする研究全般にかかる多くの御指導と御助言をいただいた。ここに心より感謝の意を表します。

タイ国における現地インタビュー調査にあたり、タイ湾北部海洋沿岸資源研究開発センターKanjana Adulyanukosol 博士、プーケット海洋生物センターKongkiat Kittiwattanawong 博士、Phaothep Cherdsukjai 氏をはじめとする研究所スタッフには、様々な協力および便宜を図って頂いた。本研究ではタイ国のフィールドにおいて京都大学大学院情報学研究科生物圏情報学講座の関係者をはじめとする多くの方々の努力と協力により収集された音響データを使わせていただいた。これらのデータを使用したことを表記し、関係者各位に深謝いたします。

最後に、途切れがちで細く長い研究生活を終始励まし、精神的に支えて見守ってくれた先生方、友人達、そして癒しを与えてくれた娘の海尋に、心より感謝します。

参考文献

- Adulyanukosol, K. 1995. The status and tendency of declination of dugong population in Thailand. Proceedings of the Seminar of the Department of Fisheries, Bangkok, Thailand. 1995. 385-392. (in Thai)
- Adulyanukosol, K. 1999. Dugong, dolphin and whale in Thai waters. Proceedings of the 1st Korea-Thailand Joint Workshop on Comparison of coastal Environment: Korea- Thailand, Seoul, September 9-10, 1999. 5-15.
- Adulyanukosol, K. 2004. Dugong and conservation of dugong in Thailand. Phuket Marine Biological Center, Technical Paper 5, 56. (in Thai)
- Adulyanukosol, K. 2000. Dugong survey in Thailand. *Biologia Marina Mediterranea* 7(2), 191-194.
- Adulyanukosol, K. 2010. Ecology of the Dugong (*Dugong dugon*) in Thailand: Population Characteristics, Feeding Habits and Conservation. PhD thesis, University of the Ryukyus. 260 pp.
- Adulyanukosol, K., Chantrapornsyl, S. and Poovachiranon, S. 1997. Aerial survey of dugong (*Dugong dugon*) in the Andaman coast, Thailand. *Thai Fisheries Gazette*, 50(5), 359-374. (in Thai)
- Adulyanukosol, K., Prasittipornkul, C. Man-Anansap, S. and Boukaew, P. 2009. Stranding records of dugong (*Dugong dugon*) in Thailand. Proceedings of the 4th International Symposium on SEASTAR2000 and Asian Bio-logging Science (The 8th SEASTAR2000 workshop), 51-57.
- Adulyanukosol, K. and Thongsukdee, S. 2005. The results of the survey on dugong, dolphin, sea turtle, and seagrass in Trang province. Report submitted to Department of Marine and Coastal Resources. November, 2006, 10 pp.
- Adulyanukosol, K., Thongsukdee, S., Hara, T., Arai, N. and Tsuchiya, M. 2007. Observation of dugong reproductive behavior in Trang Province, Thailand: Further

- evidence of intraspecific variation in dugong behavior. *Marine Biology* 151, 1887-1891.
- Adulyanukosol, K., Thongsukdee, S. and Poovachiranon, S. 2003. An observation of dugong behaviors from aerial survey and feeding trails of cow-calf pair in seagrass habitat. *Journal of Environment and Resource. Mahidol University* 1(2), 112-118.
- Adulyanukosol, K., Thongsukdee, S., Saowarit, W. and Payakkaporn, P. 2008. Dugong survey in the Andaman Sea, Thailand in 2008. Report of Marine Endangered Species Unit, No.1/2008, Phuket Marine Biological Center. 14 pp.
- Akamatsu, T., Wang, D., Wang, K., Li, S., Dong, S., Zhao, X., Barlow, J., Stewart, B. S. and Richlen, M. 2008. Estimation of the detection probability for Yangtze finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*) with a passive acoustic method. *Journal of Acoustic Society of America* 123(6), 4403-4411.
- Amamoto, N. 2009. Study on the Factors Affecting the Feeding Ground Selection by Dugongs in Talibong Island, Thailand Using Marine Acoustic Information. MSc thesis, Kyoto University, 49 pp.
- Amamoto, N., Ichikawa, K., Arai, N., Akamatsu, T., Shinke, T. and Adulyanukosol, K. 2009. The depth of water effects the feeding ground selection by dugongs in dry season. *Journal of Advanced Marine Science and Technology Society* 15(2), 149-157.
- Anderson, P. K. 1984. Suckling in *Dugong dugon*. *Journal of Mammalogy* 65(3), 510-511.
- Anderson, P. K. 1986. Dugongs of Shark Bay, Australia- Seasonal migration, water temperature, and forage. *National Geographic Research* 2(4), 473-490.
- Anderson, P. K. 1994. Dugong distribution, the seagrass, *Halophila spinulosa*, and thermal environment in winter deeper waters of eastern Shark Bay, western Australia. *Wildlife Research* 21, 381-388.
- Anderson, P. K. 1997. Shark Bay dugong in summer. I: Lek mating. *Behavior* 134(5), 433-462.

- Anderson, P. K. 1998. Shark Bay dugongs (*Dugong dugon*) in summer: II. Foragers in a Halodule-dominated community. *Mammalia* 62, 409–425.
- Anderson, P. K. and Barclay, R. M. R. 1995. Acoustic signals of solitary dugong: physical characteristics and behavioral correlates. *Journal of Mammalogy* 76(4), 1226-1237.
- Anderson, P. K. and Birtles, A. 1978. Behaviour and ecology of the dugong, *Dugong dugong* (Sirenia): Observations in Shoalwater and Creveland Bays, Queensland. *Australian Wildlife Research* 5, 1-23.
- André, M., van der Schaar, M., Zaugg, S., Houégnigan, L., Sánchez, A. M., and Castell, J. V. 2011. Listening to the Deep: live monitoring of ocean noise and cetacean acoustic signals. *Marine Pollution Bulletin* 63(1-4), 18-26.
- Andrew, R. K., Howe B. M. and Mercer J. A. 2002. Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast. *Acoustic Research Letters Online* 3(2), 65-70.
- Au W. W. L. and Banks, K. 1998. The acoustics of snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. *Journal of Acoustic Society of America* 103(1), 41-47.
- Au, W. W. L. and Hastings, M. C. 2008. *Principles of Marine Bioacoustics*. Springer, 680 pp.
- Au, W. W. L., Popper, A. N. and Fay, R. 2000. *Hearing by Whales and Dolphins*. Springer-Verlag, New York. 485 pp.
- Bejder, L., Samuels, A., Whitehead, H., Gales, N., Mann, J., Connor, R. C., Heithaus, M. R., Watson-Capps, J., Flaherty, C. and Krutzen, M. 2006. Decline in relative abundance of bottlenose dolphins exposed to long-term disturbance. *Conservation Biology* 20(6), 1791-1798.
- Brumm, H. 2004. The impact of environmental noise on song amplitude in a terrestrial bird. *Journal of Animal Ecology* 73, 434-440.
- Brumm, H. 2006. Animal communication: city birds have changed their tune. *Current*

- Biology 16(23), R1003-R1004.
- Brumm, H., Schmidt, R. and Schrader, L. 2009. Noise-dependent vocal plasticity in domestic fowl. *Animal Behaviour* 78, 741-746
- Brumm, H. and Slabbekoorn, H. 2005. Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behavior* 35, 151-209.
- Brumm, H., Voss, K. , Kollmer, I. and Todt, D. 2004. Acoustic communication in noise: regulation of call characteristics in a New World monkey. *The Journal of Experimental Biology* 207, 443-448.
- Buckstaff, K. C. 2004. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science* 20, 709-725.
- Calleson, C. S. and Frohlich, R. K. 2007. Slower boat speeds reduce risks to manatees. *Endangered Species Research* 3, 295-304.
- Carretta, J. V., Barrlow J. and Enriquez, L. 2008. Acoustic pingers eliminate beaked whale bycatch in a gill net fishery. *Marine Mammal Science* 24(4), 956-961.
- Cato, D. H., Noad, M. H. and McCauley, R. D. 2005. Passive Acoustics as a Key to the Study of Marine Mammals. In (H. Medwin, eds.) *Sounds in the Sea: From Ocean Acoustics to Acoustical Oceanography*. pp. 411-429. Cambridge University Press, Cambridge. UK.
- Changsang, H and Poovadiranon, S. 1994. The distribution and species composition of seagrass beds along the Andaman Sea coast of Thailand. *PMBC Research Bulletin* 59, 43-52.
- Chatchawanchonteera, P. and Semsan, S. 2005. The Status of Small-Scale Fisheries in Modtanoi Village, Kohlibong Subdistrict, Kantang District Trang Province. BSc thesis, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, Thailand. (in Thai)
- Chilvers, B. L., Delean, S., Gales, N. J., Holley, D. K., Lawler, I. R., Marsh, H. and Preen, A. R. 2004. Diving behaviour of dugongs, *Dugong dugon*. *Journal of*

- Experimental Marine Biology and Ecology 304, 203-224.
- Clark, C. W., Ellison, W. T., Southall, B. L., Hatch, L., Van Parijs, S. M., Frankel, A. and Ponirakis, D. 2009. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. Marine Ecology Progress Series 395, 201-222.
- Damiani, G. 2011. The Acoustic Repertoire and Vocal Behavior of Dugongs in Southern Queensland. Honours Thesis, University of Queensland, Australia. 98 pp.
- Deutsch, C. J., Rycyk, A., Barlas, M. E., Nowacek, D. P., Koslovsky, S. M. and Frisch, K. 2009. Response of manatees to vessel traffic: Simultaneous measurements of behavioral responses and the acoustic environment. Final Progress Report to Florida Fish and Wildlife Conservation Commission. Project Contract No. 021426 to Florida State University. 111 pp.
- Douglas, A. B., Calambokidis, J., Raverty, S., Leffries, S. J., Lambourn, D. M. and Norman, S. A. 2008. Incidence of ship strikes of large whales in Washington State. Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom 88(6), 1121-1132.
- Erbe, C. 2002. Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. Marine Mammal Science 18(2), 394-418.
- Florida Fish and Wildlife Conservation Commission (FWC). 2007. Florida manatee management plan, *Trichechus manatus latirostris*. Tallahassee, Florida. 267 pp.
- Florida Fish and Wildlife Conservation Commission (FWC). 2010. Integration of research and information to reduce watercraft-related manatee mortality via avoidance technology solutions. 9 pp.
- Francis, C. D. and Barber, J. R. 2013. A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. Frontiers in Ecology and the Environment 11(6), 305–313.
- Gerrard, C. A. 1999. Dugong-Watching Tourism and Encounter Response of the Dugong (*Dugong dugon*) in Shark Bay, Western Australia. MSc thesis. University

- of Calgary. 77 pp.
- Gerstein, E. 2002. Manatees, bioacoustics and boats. *American Scientist* 90(2), 154.
- Gerstein, E. R., Gerstein, L., Forsythe, S. E. and Blue, J. E. 1999. The underwater audiogram of the West Indian manatee (*Trichechus manatus*). *Journal of the Acoustical Society of America* 105, 3575-3583.
- Grech, A. and Marsh, H. 2008. Rapid assessment of risks to a mobile marine mammal in an ecosystem-scale marine protected area. *Conservation Biology* 22(3), 711-720.
- Groom, R. A., Lawler, I. R. and Marsh, H. 2004. The risk to dugong of vessel strike in the Southern Bay Islands Area of Moreton Bay. James Cook University, Townsville, Queensland, 22 pp.
- Gur, B. M. and Niezrecki, C. 2007. Autocorrelation based denoising of manatee vocalizations using the undecimated discrete wavelet transform. *Journal of Acoustic Society of America* 122(1), 188-199.
- Halfwerk, W. and Slabbekoorn, H. 2009. A behavioural mechanism explaining noise-dependent frequency use in urban birdsong. *Animal Behaviour* 78, 1301-1307.
- Hartman, D. S. 1979. Ecology and Behavior of the Manatee (*Trichechus manatus*) in Florida. *American Society of Mammalogists*, 153 pp.
- Hassan, R. M., Scholes, R. and Ash, N. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group, Island Press, Washington DC.
- Haviland-Howell, G., Frankel, A. S., Powell, C. M., Bocconcelli, A., Herman, R. L. and Sayigh, L. S. 2007. Recreational boating traffic: A chronic source of anthropogenic noise in the Wilmington, North Carolina Intracoastal Waterway. *Journal of Acoustic Society of America* 122(1), 151-160.
- Hildebrand, J. A. 2005. Impacts of Anthropogenic Sound. In (J. E. Reynolds, W. F. Perrin, R. R. Reeves, S. Montgomery and T. J. Ragen, eds.) *Marine Mammal Research: Conservation beyond Crisis*. pp. 101-124. The Johns Hopkins University

Press, Baltimore.

- Hildebrand, J. A. 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series* 395, 5-20.
- Hines, E. M. 2002. Conservation of the Dugong (*Dugong dugon*) along the Andaman Coast of Thailand: An Example of Integration of Conservation and Biology in Endangered Species Research. PhD thesis, University of Victoria. Victoria, 574 pp.
- Hines, E. M., Adulyanukosol, K. and Duffs, D. A. 2005a. Dugong (*Dugong dugon*) abundance along the Andaman coast of Thailand. *Marine Mammal Science* 21(3), 536-549.
- Hines, E., Adulyanukosol, K., Duffus, D. and Dearden, P. 2005b. Community perspectives and conservation needs for Dugongs (*Dugong dugon*) along the Andaman coast of Thailand. *Environmental Management* 36(5), 654-664.
- Hinrichsen, D. 1998. *Coastal Waters of the World: Trends, Threats and Strategies*. Island Press, Washington DC.
- Hishimoto, Y., Ichikawa, K., Akamatsu, T. and Arai, N. 2005. The acoustical characteristics of dugong calls and the behavioral correlation observed in Toba aquarium. *Proceedings of the 2nd International Symposium on SEASTAR2000 and Asian Bio-logging Science (The 6th SEASTAR2000 workshop)*, 25-28.
- Hishimoto, Y. 2007. Study on the Behavior and Vocalization of Captive Dugongs (*Dugong dugon*) in Toba Aquarium. MSc thesis, Kyoto University. 53 pp.
- Hobbs, J-P. A., Frisch, A. J., Hender, J. and Gilligan, J. J. 2007. Long-distance oceanic movement of a solitary dugong (*Dugong dugon*) to the Cocos (Keeling) Islands. *Aquatic Mammals* 33 (2), 175-178.
- Hodgson, A. J. 2004. Dugong Behaviour and Responses to Human Influences. PhD thesis, School of Tropical Environment Studies and Geography, James Cook University, Townsville. Australia. 295 pp.
- Hodgson, A. J. and Marsh, H. 2007. Response of dugongs to boat traffic: The risk of disturbance and displacement. *Journal of Experimental Marine Biology and*

Ecology 340, 50-61.

- Hodgson, A. J., Marsh, H., Delean, S. and Marcus, L. 2007. Is attempting to change marine mammal behaviour a generic solution to the bycatch problem? A dugong case study. *Animal Conservation* 10, 263-273.
- Holley, D. K. 2006. Movement Pattern and Habitat Usage of Shark Bay Dugongs. MSc thesis, Edith Cowan University, Joondalup, Western Australia. 131 pp.
- Holt, M. M., Noren, D. P., Veirs, V., Emmons, C. K. and Veirs, S. 2008. Speaking up: Killer whales (*Orcinus orca*) increase their call amplitude in response to vessel noise. *Journal of Acoustic Society of America* 125(1), EL27-EL32.
- Hu, Y. and Cardoso, G. C. 2010. Which birds adjust the frequency of vocalizations in urban noise. *Animal Behavior* 79, 863-867.
- Ichikawa, K. 2007. Studies on Behavioral Ecology and Protection Measures of the Dugongs Based on Analyses of Marine Acoustical Informations. PhD thesis, Kyoto University.
- Ichikawa, K., Akamatsu, T., Shinke, T., Adulyanukosol, K. and Arai, N. 2011. Callback response of dugongs to conspecific chirp playbacks. *Journal of Acoustic Society of America* 129, 3623-3629.
- Ichikawa, K., Akamatsu, T., Shinke, T., Arai, N. and Adulyanukosol, K. 2012. Clumped distribution of vocalizing dugongs (*Dugong dugon*) monitored by passive acoustic and visual observations in Thai waters. *Proceedings of Acoustics 2012*, Fremantle, Australia.
- Ichikawa, K., Akamatsu, T., Shinke, T., Sasamori, K., Miyauchi, Y., Abe, Y., Adulyanukosol, K., and Arai, N. 2009. Detection probability of vocalizing dugongs during playback of conspecific calls. *Journal of Acoustic Society of America* 126(4), 1954-1959.
- 市川光太郎、荒井修亮、赤松友成、新家富雄、Kanjana Adulyanukosol. 2009. タイ国でのジュゴン音響観察. *海洋理工学会誌* 15(1), 63-66.
- Ichikawa, K., Arai, N., Akamatsu, T., Shinke, T., Hara, T. and Adulyanukosol, K. 2003.

- Acoustical analyses on the calls of dugong. Proceedings of the 4th SEASTAR2000 Workshop, 83-86.
- Ichikawa, K., Tsutsumi, C., Arai, N., Akamatsu, T., Shinke, T., Hara, T. and Adulyanukosol, K. 2006. Dugong (*Dugong dugon*) vocalization patterns recorded by automatic underwater sound monitoring systems. Journal of Acoustic Society of America 119(6), 3726-3733.
- Iwashina, Y. 2008. A Preliminary Study of the Basic Ear Anatomy of the Dugongs. MSc thesis, James Cook University, Townsville, Queensland.
- Janik, V. M., Van Parijs, S. M. and Thompson, P. M. 2000. A two-dimensional acoustic localization system for marine mammals. Marine Mammal Science 16(2), 437-447.
- Jantho, M. and Khamkhachon, W. 2005. The Status of Small-Scale Fisheries at Bankhoksathon and Bansaikeaw, Kohlibong Subdistrict, Kantang District, Trang Province. BSc thesis, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, Thailand. (in Thai)
- Johnson, S. 2007. Land use plan for sustainable tourism development in Koh Libong. Thai-Swedish Cooperation Programme on Local Agenda 21 and Sustainable Tourism in Trang. 22 pp.
- Johnson, M., Aguilar de Soto, N., Madsen, P. T. 2009. Studying the behaviour and sensory ecology of marine mammals using acoustic recording tags: A review. Marine Ecology Progress Series 395, 55-73.
- Johnson, M. W., Everest, F. A. and Young, R. W. 1947. The role of snapping shrimp in the production of underwater noise in the sea. Biological Bulletin 93, 122-138.
- Johnson, M. P. and Tyack, P. L. 2003. A digital acoustic recording tag for measuring the response of wild marine mammals to sound. IEEE Journal of Oceanic Engineering 28(1), 3-1.
- 海洋音響学会. 2006. 海洋動物の音響観測. 208 pp.
- 環境省. 2006. 平成 17 年度ジュゴンと藻場の広域的調査報告書. 平成 18 年 3 月.
- Kaselloo, P. A. and Tyson, K. O. 2004. Synthesis of noise effects on wildlife populations.

- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, No. FHWA-HEP-06-016, September 2004, 67 pp.
- 粕谷俊雄、白木原美紀、吉田英可、小河久朗、横地洋之、内田詮三、白木原国雄. 1999. 日本産ジュゴンの現状と保護. 第8期プロ・ナトゥーラ・ファン ド助成成果報告書, 55-63.
- 粕谷俊雄、小河久朗、横地洋之、細川太郎、白木原美紀、東直人. 2000. 日本産 ジュゴンの現状と保護. 第9期プロ・ナトゥーラ・ファン ド助成成果報告書, 29-39.
- King, S. L. and Janik, V. M. 2013. Bottlenose dolphins can use learned vocal labels to address each other. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 22 July 2013.
- Knight, C. R. and Swaddle, J. P. 2011. How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review. *Ecology Letters* 14, 1052-1061.
- Knowlton, A. R. and Brown, M. W. 2007. Running the Gauntlet: Right Whales and Vessel Strikes, In (S. D. Kraus, and R. M. Rolland, eds.) *The Urban Whale: North Atlantic Right Whales at the Crossroads*. pp. 409-425. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Kobayashi, K. I. and Okanoya, K. 2003. Context-dependent song amplitude control in Bengalese finches. *Neuroreport* 14(3), 521-524.
- Komiyama, S. 2013. Development and Application of Contour Extraction Method for Animal Calls: A Case Study on Quantitative Classification of Dugong Calls. MSc thesis, Kyoto University. 48 pp.
- Laist, D. W. and Shaw, C. 2006. Preliminary evidence that boat speed restrictions reduce death of Florida manatees. *Marine Mammal Science* 22(2), 472-479.
- Lanyon, J., Johns, T. and Sneath, H. L. 2005. Year-round presence of dugongs in Pumicestone Passage, south-east Queensland, examined in relation to water temperature and seagrass distribution. *Wildlife Research* 32, 361-368.
- Lesage, V., Barrette, C., Kingsley, M. C. S. and Sjare, B. 1999. The effect of vessel

- noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River estuary. *Marine Mammal Science* 15, 65-84.
- Lohr, B., Wright, T. F. and Dooling, R. J. 2003. Detection and discrimination of natural calls in masking noise by birds: estimating the active space of signal. *Animal Behaviour* 65, 763-777.
- Lombard, É. 1911. Le signe de l'élévation de la voix. *Annales des Maladies de L'Oreille et du Larynx*, 37(2), 101–119.
- Lusseau, D. and Bejder, L. 2007. The long-term consequences of short-term responses to disturbance experiences from whalewatching impact assessment. *International Journal of Comparative Psychology* 20, 228-236.
- Maitland, R. N., Lawler, I. R. and Sheppard, J. K. 2006. Assessing the risk of boat strike on dugongs (*Dugong dugon*) at Burrum Heads, Queensland, Australia. *Pacific Conservation Biology* 12 (4), 321-326.
- Mann, D. A., O'Shea, T. J. and Nowacek, D. P. 2006. Nonlinear dynamics in manatee vocalizations. *Marine Mammal Science* 22(3), 548-555.
- Marques, T. A., Thomas, L., Ward, J., DiMarzio, N. and Tyack, P. L. 2009. Estimating cetacean population density using fixed passive acoustic sensors: An example with Blainville's beaked whales. *Journal of Acoustic Society of America* 125(4), 1982-1994.
- Marsh, H. 2008. *Dugong dugon*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. <www.iucnredlist.org>.
- Marsh, H., De'ath, G., Gribble, N. and Lane, B. 2005. Historical marine population estimates: Triggers or targets for conservation? The dugongs case study. *Ecological Applications* 15(2), 481-492.
- Marsh, H., Eros, C., Corkeron, P. and Breen, B. 1999. A conservation strategy for dugongs: Implications of Australian research. *Marine and Freshwater Research* 50, 979-990.
- Marsh, H., O'Shea, T. J. and Reynolds, J. E. I. 2011. The Ecology and Conservation of

- Sirenia: Dugongs and Manatees. Cambridge University Press, Cambridge , U.K. 536 pp.
- Marsh, H., Penrose, H., Eros, C. and Hugues, J. 2002. Dugong: Status Report and Action Plans for Countries and Territories, United Nations Environment Programme (UNEP), Division of Early Warning and Assessment (DEWA) Report Series, UNEP and Earthprint, New York, 162 pp.
- Marsh, H. and Rathbun, G. B. 1990. Development and application of conventional and satellite radio tracking techniques for studying dugong movements and habitat use. *Australian Wildlife Research* 17, 83–100.
- Marsh, H., Spain, A. V. and Heinsohn, G. E. 1978. Physiology of the dugong. *Comparative Biochemistry and Physiology* 61A, 159-168.
- Marten, K. and Marler, P. 1977. Sound transmission and its significance for animal vocalization. L. Temperate habitats. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 2, 271-290.
- Matsuo, Y. 2014. Factors Affecting Vocal Behavior of a Dugong in Captivity. MSc thesis, Kyoto University, 51 pp.
- McDonald, M. A., Hildebrand J. A. and Wiggins, S. M. 2006. Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. *Journal of Acoustic Society of America* 120(2), 711-718.
- McDonald, M. A., Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M. and Ross, D. 2008. A 50 year comparison of ambient ocean noise near San Clemente Island: A bathymetrically complex coastal region off Southern California. *Journal of Acoustic Society of America* 124(4), 1985-1992.
- Medwin, H. 2005. *Sound in the Sea. From Ocean Acoustics to Acoustical Oceanography*. Cambridge University Press. 664 pp.
- Mellinger, D. K., Stafford, K. M., Moore, S. E., Dziak, R. P. and Matsumoto, H. 2007. An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans.

- Oceanography 20(4), 37-45.
- Miksis-Olds, J. L., Donaghay, P. L., Miller, J. H., Tyack, P. L. and Reynolds, J. E. 2007. Simulated vessel approaches elicit differential responses from manatees. *Marine Mammal Science* 23(3), 629-649.
- Miksis-Olds, J. L. and Tyack, P. L. 2009. Manatee (*Trichechus manatus*) vocalization usage in relation to environmental noise levels. *Journal of Acoustic Society of America* 125(3), 1806-1815.
- Miller, P. J. O. 2002. Mixed-directionality of killer whale stereotyped calls: A direction of movement cue? *Behavioral Ecology and Sociobiology* 52, 262-270.
- Miller, P. J. O., Biassoni, N., Samuels, A. and Tyack, P. L. 2000. Whale songs lengthen in response to sonar. *Nature* 405, 903.
- Moore, S. E., Reeves, R. R., Southall, B. L., Ragen, T. J., Suydam, R. S. and Clark, C. W. 2012. A new framework for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammals in a rapidly changing Arctic. *BioScience* 62, 289-295.
- Morisaka, T., Shinohara, M., Nakahara, F. and Akamatsu, T. 2005. Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. *Journal of Mammalogy* 86(3), 541-546.
- Morton, E. S. 1977. On the occurrence and significance of motivation-structural rules in some bird and mammal sounds. *The American Naturalist* 111, 855-869.
- Morton, A. B. and Symonds, H. K. 2002. Displacement of *Orcinus orca* (L.) by high amplitude sound in British Columbia, Canada. *ICES Journal of Marine Science* 59, 71-80.
- Muanke, P. B. and Niezrecki, C. 2007. Manatee position estimation by passive acoustic localization. *Journal of Acoustic Society of America* 121(4), 2049-2059.
- 向井宏. 2009. ジュゴンの摂餌生態：現状と展望. *海洋理工学会誌* 15(1), 73-87.
- Nair, R. V. and Lal Mohan, R. S. 1975. Studies on the vocalisation of the sea cow *Dugong dugon* in captivity. *Indian Journal of Fisheries* 22 (1&2), 277-278.

- Nair, R. V., Mohan, R. S. L. and Rao, K. S. 1975. The dugong *dugong dugon*. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 26, 45 pp.
- Nakanishi, Y., Hosoya, S., Arai, N., Nakanishi, Y., Katsukoshi, K. and Adulyanukosol, K. 2006. The distribution of seagrass meadows and dugong feeding trails in the dry season around Talibong Island, Trang Province, Thailand. Proceedings of the 7th SEASTAR2000 Workshop, 55-62.
- Nakanishi, Y., Hosoya, S., Nakanishi, Y., Arai, N. and Adulyanukosol, K. 2005. The distribution of dugong trenches in the seagrass beds of Libong Island, Thailand. Journal of Advanced Marine Science and Technology Society 11, 53–57. (in Japanese).
- Nammoonree, P. and Phetbua, S. 2006. The Requirement to Fishery Extension of Small Scale Fishermen: A Case Study on Modtanoi Village, Kantang District, Trang Province. BSc thesis, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, Thailand. (in Thai)
- National Research Council. 2003. Ocean Noise and Marine Mammals, Committee on Potential Impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals. The National Academies Press, Washington, D.C., 192 pp.
- National Research Council. 2005. Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining When Noise Causes Biologically Significant Effects. The National Academies Press, Washington, D.C., 126 pp.
- Nemeth, E. and Brumm, H. 2008. Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization? Animal Behaviour 78, 637-641.
- Nemeth, E. and Brumm, H. 2010. Birds and anthropogenic noise: are urban songs adaptive? The American Naturalist 176(4), 465-75.
- Nemeth, E., Pieretti, N., Zollinger, S. A., Geberzahn, N., Partecke, J., Miranda, A. C. and Brumm, H. 2013. Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. Proceedings of the Royal

- Society B: Biological Sciences 280, 1754.
- Niezrecki, C., Phillips, R. and Meyer, M. 2003. Acoustic detection of manatee vocalizations. *Journal of Acoustic Society of America* 144(3), 1640-1647.
- 日本水産資源保護協会. 2003. 平成 14 年度ジュゴン保護対策事業報告書.
- Nishiwaki, M. and Marsh, H. 1985. Dugong, *Dugong dugon* (Müller, 1776). In (S. H. Ridgway and S. R. Harrison, eds.) *Handbook of Marine Mammals Vol.3: the Sirenians and Baleen Whales*. pp. 1-31. St Edmundsbury Press Limited, Bury St Edmunds, Suffolk.
- Nitiratsuwan, T., Nitithamyong, C., Chiayvareesajja, S. and Somboonsuke, B. 2010. Distribution of blue swimming crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Trang Province. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 32(3), 207-212.
- Noomun, C. and Pogkrong, B. 2006. The Requirement to Fishery Extension of Small Scale Fishermen: A Case Study on Kohmook Village, Kantang District, Trang Province. BSc thesis, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, Thailand. (in Thai)
- Nowacek, D. P., Casper, B. M., Wells, R. S., Nowacek S. M. and Mann, D. A. 2003. Intraspecific and geographic variation of West Indian manatee (*Trichechus manatus spp.*) vocalizations. *Journal of Acoustic Society of America* 114, 66-69.
- Nowacek, D. P., Thorne, L. H., Johnston, D. W. and Tyack, P. L. 2007. Response of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Review* 37(2), 81-115.
- Nowacek, S. M., Wells, R. S., Owen, E. C. G., Speakman, T. R., Flamm, R. O. and Nowacek, D. P. 2004. Florida manatees, *Trichechus manatus latirostris*, respond to approaching vessels. *Biological Conservation* 119, 517-523.
- Oberweger, K. and Goller, F. 2001. The metabolic cost of birdsong production. *Journal of Experimental Biology* 204, 3379-3388.
- 沖縄防衛局. 2011. 普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価書.
- Okumura, N. 2007. A Study on Dugong (*Dugong dugon*) Vocalizations: the Characteristics and the Geographic Variations among Three Areas. MSc thesis,

- Kyoto University. 55 pp.
- Okumura, N., Ichikawa, K., Akamatsu, T., Arai, N., Shinke, T., Hara T. and Adulyanukosol, K. 2005. Pattern analyses of the vocal structure of dugong calls. Proceedings of the 5th SEASTAR2000 Workshop, 29-32.
- Okumura, N., Ichikawa, K., Akamatsu, T., Arai, N., Shinke, T., Hara T. and Adulyanukosol, K. 2006. Pattern analysis on the vocal structure of calls and geographic variations among three areas. Proceedings of the 6th SEASTAR2000 Workshop, 63-67.
- Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck Jr., K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F. T., Waycott, M. and Williams, S. L. 2006. A Global Crisis for Seagrass Ecosystems. *Bioscience* 56, 987-996.
- O'Shea, T. J. and Poche, Jr., L.B. 2006. Aspects of underwater sound communication in Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *Journal of Mammalogy* 87(6), 1061-1071.
- OSPAR Commission. 2009. Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment. 133 pp.
- Owings, D. H. and Morton, E. S. 2006. *Animal Vocal Communication: A New Approach*. Cambridge University Press, 300 pp.
- Parks, S. E., Johnson, M., Nowacek, D. and Tyack, P. L. 2010. Individual right whales call louder in increased environmental noise. *Biology Letters* 7(1), 33-35.
- Parks, S. E. and Clark, C. W. 2007. Acoustic Communication: Social Sounds and the Potential Impacts of Noise. In (S. D. Kraus, and R. M. Rolland, eds.) *The Urban Whale: North Atlantic Right Whales at the Crossroads*. pp. 310-332. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Parsons, M. J. G., Holley, D. and McCauley, R. D. 2013. Source levels of dugong (*Dugong dugon*) vocalizations recorded in Shark Bay. *Journal of Acoustic Society of America* 134(3), 2582-2588.

- Patricelli, G. L. and Blickley, J. L. 2006. Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment. *The Auk* 123(3), 639-649.
- Payne, R. and Mcvay, S. 1971. Songs of humpback whales. *Science* 173, 585-597.
- Payne, R. and Webb, D. 1971. Orientation by means of long range acoustic signaling in baleen whales. *Annals of the New York Academy of Sciences* 188, 110-141.
- Petchkaew, P. and Yaming, S. 2005. The Status of Small Scale Fisheries at Banbatuputae and Banlangkhoa, Kohlibong Subdistrict, Kantang District, Trang Province. BSc thesis, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, Thailand. (in Thai)
- Phillips, R., Niezrecki, C. and Beusse, D. O. 2004. Determination of West Indian manatee vocalization levels and rate. *Journal of Acoustic Society of America* 115(1), 422-428.
- Phillips, R., Niezrecki, C. and Beusse, D. O. 2006. Theoretical detection ranges for acoustic based manatee avoidance technology. *Journal of Acoustic Society of America* 120(1), 153-163.
- Poovachiranon, S. and Adulyanukosol, K. 1999. Seagrass community and marine algae in Thailand. *Proc. 1st Korea-Thailand Joint Workshop on Comparison of Coastal Environment: Korea-Thailand. 9-10 September, 1999. Seoul, Korea.* 84-96.
- Poovachiranon, H. and Changsang, H. 1994. Community structure and biomass of seagrass beds. *PMBC Research Bulletin* 59, 53-64.
- Poovachiranon, S., Adulyanukosol, K., Saelim, P., Jarearnwattanaphorn, A., Yamaroonwattana, C. and Woottivoravong, J. 2006. Seagrasses in Thai waters. Phuket Marine Biological Center, Department of Marine and Coastal Resource. Thailand. (In Thai)
- Preen, A. R. 1992. Interactions between Dugongs and Seagrasses in a Subtropical Environment. PhD thesis, James Cook University of North Queensland, Townsville, Australia, 392 pp.
- Preen, A. R. 2001. Dugongs, boats, dolphins and turtles in the Townsville-Cardwell

- region and recommendations for a boat traffic management plan for the Hinchinbrook Dugong Protection Area. Research publication, Great Barrier Reef Marine Park Authority, Australia, no. 67. 88 pp.
- Rabin, L. A., McCowan, B., Hooper, S. L. and Owings, D. H. 2003. Anthropogenic noise and its effects on animal communication: An interface between comparative psychology and conservation biology. *International Journal of Comparative Psychology* 16, 172-192.
- Radle, L. A. 1998. The effect of noise on wildlife: A literature review. *World Forum for Acoustic Ecology*.
http://wfae.proscenia.net/library/articles/radle_effect_noise_wildlife.pdf
- Rasmussen, M. H., Lammers, M., Beedholm, K. and Miller, L. A. 2006. Source levels and harmonic content of whistles in white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*). *Journal of Acoustic Society of America* 120(1), 510-517.
- Read, J., Jones, G. and Radford, A. N. 2014. Fitness costs as well as benefits are important when considering responses to anthropogenic noise. *Behavioral Ecology* 25(1), 4-7.
- Rendall, D., Owren, M. J. and Rodman, P. S. 1998. The role of vocal tract filtering in identify cueing in rhesus monkey (*Macaca mulatta*) vocalizations. *Journal of Acoustic Society of America* 103, 602-614.
- Richardson, W. J., Greebe, Jr., C. R., Malme, C. I. and Thomson, D. H. 1995. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press. San Diego, CA. 576 pp.
- Rommel, S. A., Costidis, A. M., Pitchford, T. D., Lightsey, J. D., Snyder R. H. and Haubold, E. M. 2007. Forensic methods for characterizing watercraft from watercraft-induced wounds on the Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*). *Marine Mammal Science* 23(1), 110-132.
- Sakamoto, S. 2007. Effect of Ship Sound on Dugong (*Dugong dugon*) Vocalizations. MSc thesis, Kyoto University. 59 pp.
- Sakamoto, S., Ichikawa, K., Akamatsu, T., Shinke, T., Arai, N., Hara, T. and

- Adulyanukosol, K. 2006. Effect of ship sound in the vocal behavior of dugongs. Proceedings of the 7th SEASTAR2000 workshop, 69-75.
- Sangarun, S. and Hengbunmee, S. 2007. The Sustainable of *Dugong dugon* Continue Stable Economy: A Case Study on Small-Scale Fishermen in Koh Libong Subdistrict, Kantung District, Trang Province. BSc thesis, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, Thailand. (in Thai)
- Sanvito, S., Galimberti, F. and Miller, E. H. 2007. Vocal signaling of male southern elephant seals is honest but imprecise. *Animal Behaviour* 73, 287-299.
- Seyfarth, R. M., Cheney, D. L., Bergman, T., Fischer, J., Zuberbühler, K. and Hammerschmidt, K. 2010. The central importance of information in studies of animal communication. *Animal Behaviour* 80, 3-8.
- Scheifele, P. M. and Darre, M. 2005. Noise Levels and Sources in the Stellwagen Bank National Marine Sanctuary and the St. Lawrence River Estuary. Marine Conservation Series MSD-05-1. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Marine Sanctuaries Division, Silver Spring, MD. 32 pp.
- Sheppard, J. K. 2008. The Spatial Ecology of Dugongs: Applications to Conservation Management. PhD thesis, James Cook University, Townsville, Queensland.
- Sheppard, J. K., Jones, R. E., Marsh, H. and Lawler, I. R. 2009. Effects of tidal and diel cycles on dugong habitat use. *Journal of Wildlife Management* 73(1), 45-59.
- Sheppard, J. K., Preen, A. R., Marsh, H., Lawler, I. R., Whiting, S. D. and Jones, R. E. 2006. Movement heterogeneity of dugongs, *Dugong dugon* (Muller), over large spatial scales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 334, 64-83.
- Shinke, T. 2007. Listening wild dugongs 2 – Evolution of observation method for dugong. *Journal of Marine Acoustic Society of Japan* 34(4), 274-283.(in Japanese)
- Shirakihara, M., Yoshida, H., Yokochi, H., Ogawa, H., Hosokawa, T., Higashi, N. and Kasuya, T. 2007. Current status and conservation needs of dugongs in southern Japan. *Marine Mammal Science* 23(3), 694-706.

- Slabbekoorn, H. and den Boer-Visser, A. 2006. Cities change the songs of birds. *Current Biology* 16, 2326-2331.
- Slabbekoorn, H. and Peet, M. 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature* 424, 267.
- Slabbekoorn, H. and Ripmeester, E. A. P. 2008. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology* 17, 72-83.
- Sousa-Lima, R. S., Paglia, A. P. and Da Fonseca, G. A. B. 2002. Signature information and individual recognition in the isolation calls of Amazonian manatees, *Trichechus inunguis* (Mammalia: Sirenia). *Animal Behaviour* 63, 301-310.
- Sulong, K. and Chealee, S. 2004. Study on Local Fishermen's Basic Knowledge in Order to Teach of Fisheries Technology: The Study in Kohlibong Village, Kantung District, Trang Province. BSc thesis, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, Thailand. (in Thai)
- Sun, J. W. C. and Narrins, P. M. 2005. Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological Conservation* 121, 419-427.
- Tiptus, P. 2006. Dugongs (*Dugong dugon*) in Trang Province, Thailand: Distribution, Habitat Use, Strandings, Public Perception, Conservation, and Management. MSc thesis, University of Aberdeen. 200 pp.
- Tourism Authority of Thailand. 2007. Internal Tourism in Trang. Retrieved from http://www2.tat.or.th/stat/web/static_index.php
- Tsutsumi, C. 2006. Monitoring Study on Feeding Behavior of Dugongs (*Dugong dugon*) Using Visual and Acoustic Information. MSc thesis, Kyoto University. 60 pp.
- Tsutsumi, C., Ichikawa, K., Akamatsu, T., Arai, N., Shinke, T., Hara, T. and Adulyanukosol, K. 2005. A visual-acoustic combined observation method to monitor seagrass bed utilization by dugongs (*Dugong dugon*) in a tidal flat. *Proceedings of the 5th SEASTAR2000 Workshop*. 69-71.
- Tsutsumi, C., Ichikawa, K., Arai, N., Akamatsu, T., Shinke, T., Hara, T. and Adulyanukosol, K. 2006. Feeding behavior of wild dugongs monitored by a

- passive acoustical method. *Journal of Acoustic Society of America* 120(3), 1356-1360.
- Tyack, P. L. 2008. Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. *Journal of Mammalogy* 89(3), 549-558.
- Urick, R. J. 1967. *Principles of Underwater Sound*. McGraw-Hill Book Company.
- U.S. Fish and Wildlife Service 2001. Florida Manatee Recovery Plan, (*Trichechus manatus latirostris*), Third revision. U.S. Fish and Wildlife Service, Atlanta, Georgia. 144 pp.
- Van Parijs, S. M., Clark, C. W., Sousa-Lima, R. S., Parks, S. E., Rankin, S., Risch, D. and Van Opzeeland, I. C. 2009. Management and research applications of real time and archival passive acoustic sensors over varying temporal and spatial scales. *Marine Ecology Progress Series* 395, 21-36.
- Van Parijs, S. M. and Corkeron, P. J. 2001. Boat traffic affects the acoustic behavior of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 81, 533-538.
- Versluis, M., Schmitz, B., von der Hevdt, A. and Lohse, D. 2000. How snapping shrimp snap: through cavitating bubbles. *Science* 289, 2114-2117.
- Warren, P. S., Katti, M., Ermann, M. and Brazel, A. 2006. Urban bioacoustics: It's not just noise. *Animal Behaviour* 71, 491-502.
- Weilgart, L. S. 2007a. A brief review of known effects of noise on marine mammals. *International Journal of comparative Psychology* 20, 159-168.
- Weilgart, L. S. 2007b. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology* 85, 1091-1116.
- Werner, T., Kraus, S., Read, A. and Zollett, E. 2006. Fishing techniques to reduce the bycatch of threatened marine animals. *Marine Technology Society Journal* 40(3), 50-68.
- Wieland, M., Jones, A. and Renn, S. C. P. 2010. Changing durations of southern resident

- killer whale (*Orcinus orca*) discrete calls between two periods spanning 28 years. Marine Mammal Science 26(1), 195-201.
- Williams, R., Lusseau, D. and Hammond, P. S. 2006. Estimating relative energetic costs of human disturbance to killer whales (*Orcinus orca*). Biological Conservation 133(3), 301-311.
- Wirsing, A. J., Heithaus, M. R. and Dill, L. M. 2011. Predator-induced modifications to diving behavior vary with foraging mode. Oikos 120, 1005-1012.
- Wood, W. E. and Yezerinac, S. M. 2006. Song sparrow (*Melospiza melodia*) song varies with urban noise. The Auk 123, 650-659.
- Wright, A. 2008. What's all the noise about? A call for lowering underwater noise from ships. Marine Technology Reporter, 22-25.
- Yan, Z., Niezrecki, C. and Beusse, D. O. 2005. Background noise cancellation for improved acoustic detection of manatee vocalizations. Journal of Acoustic Society of America 117(6), 3566-3573.
- 吉田正人、河内直子、仲岡雅裕. 2003. 市民参加による沖縄の海草藻場のモニタリング調査. 保全生態学研究 8, 119-128.

付 録

漁業者用質問票（タイ語）４頁

（英語）３頁

観光業者用質問票（タイ語）４頁

（英語）３頁

การวิจัยกิจกรรมของเรือประมงรอบ เกาะลิบง



แบบสอบถามสำหรับชาวประมง

Noriko Ando-Mizobata
Kyoto University, Japan

[] โปรดเลือกถ้าคุณเห็นด้วย

..... กรุณابันทึก

1. อายุ

2. ประสบการณ์ของการทำประมง

[] ≤ 5 ปี [] 6-10 ปี [] 11-15 ปี

[] 16-20 ปี [] ≥ 21 ปี

3. ประเภทของเรือ

[] เรือหางยาวไม่มีเครื่องยนต์

[] เรือหางยาวมีเครื่องยนต์

[] อื่นๆ

4. ขนาดของเรือ

[] ≤ 5 เมตร [] 6-10 เมตร [] >11 เมตร

5. เครื่องมือประมง

[] trawl [] push net [] lift net [] gill net

[] set bag net [] trap [] hooks and lines [] stake net

[] อื่นๆ

6. สัตว์น้ำเป้าหมาย

โปรดเลือกเดือนที่จะจับสัตว์น้ำแต่ละชนิด

ชนิด	เดือน											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
ตัวอย่าง ปู							X	X	X			
ปู												
หมึก												
ปลา												

7. เวลาที่ใช้ในการจับ

เลือกเวลาที่ใช้ในการจับสัตว์น้ำ

ชนิด	ชั่วโมง																	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ตัวอย่าง ปู			X	X	X	X	X	X	X	X								
ปู																		
หมึก																		
ปลา																		

8. พื้นที่การดำเนินงาน

โปรดวาดเส้นการดำเนินงานและเขตการปกครอง

เช่น

เส้นทาง



ประมาณพื้นดิน



9. ข้อเสนอแนะ

Research of boat activities around the Talibong Island

Questionnaire sheet for fisherman

Noriko Ando-Mizobata
Kyoto University, Japan



☐ Please check if you agree

..... Please note

1. Your age

2. Experience of fisheries

☐ ≤ 5 years ☐ 6-10years ☐ 11-15years

☐ 16-20 years ☐ ≥ 21 years

3. Boat types

☐ long-tailed boat with no engine

☐ long-tailed boat with engine

☐ others

4. Boat size

☐ ≤ 5 m ☐ 6-10m ☐ > 11 m

5. Fishery gears

☐ trawl ☐ push net ☐ lift net ☐ gill net

☐ set bag net ☐ trap ☐ hooks and lines ☐ stake net

☐ others

6. Target species

Please check the month you catch the each species

species	month											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
<i>ex) crab</i>							<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>			
crab												
squid												
fish												

7. Operation hours

Please check the hours you operate fisheries

species	hours																	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>ex) crab</i>			<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>								
crab																		
squid																		
fish																		

8. Operation area

Please draw the operation route and area.

ex)



9. Comments

Thank you.

การวิจัยกิจกรรมของเรือประมงรอบ เกาะลิบง

แบบสอบถามสำหรับธุรกิจท่องเที่ยว

Noriko Ando-Mizobata
Kyoto University, Japan



[] โปรดเลือกถ้าคุณเห็นด้วย

..... กรุณابันทึก

1. ระยะเวลาที่คุณเริ่มดำเนินธุรกิจ.....

2. ประเภทของเรือ

[] เรือหางยาวกับเครื่องยนต์

[] เรือหางยาวกับเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพ

[] เรือข้ามฟาก (ferry)

[] อื่นๆ.....

3. ขนาดเรือ

[] $\leq 5m$ [] 6-10m [] 11-15m [] $\geq 16m$

4. วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน

[] การขนส่ง [] ธุรกิจท่องเที่ยว [] อื่นๆ.....

5. เวลาที่เริ่มดำเนินการ

โปรดเลือกเดือนที่คุณดำเนินการ

	เดือน											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
ตัวอย่าง							X	X	X	X	X	X
ท่องเที่ยว												

6. เวลาที่เริ่มดำเนินงาน

โปรดเลือกจำนวนชั่วโมงที่ดำเนินงาน

	ชั่วโมง																		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ตัวอย่าง							X	X	X	X	X	X							
ท่องเที่ยว																			

7. พื้นที่ดำเนินงาน

โปรดวาดเส้นการดำเนินงานและเขตการปกครอง

เส้นทาง

จุดชมวิว



ขอบคุณ

Research of boat activities around the Talibong Island
Questionnaire sheet for tourism officer

Noriko Ando-Mizobata
Kyoto University, Japan



☐ Please check if you agree

..... Please note

1. Started year of your operation since

2. Boat types

☐ long-tailed boat with engine

☐ boat with powerful engine

☐ ferry

☐ others

3. Boat size

☐ $\leq 5\text{m}$ ☐ 6-10m ☐ 11-15m ☐ $\geq 16\text{m}$

4. Purpose of your operation

☐ transport ☐ guide tour ☐ others.....

5. Month of boat operation

Please check the month you usually operate

	month											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
<i>ex) tour</i>							<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>

6. Hours of boat operation



Please check the hours you operate

	hours																		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<i>ex) tour</i>							<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>							

7. Operation area

Please draw the operation route and view point.

ex)

route 
view point 



Thank you.